

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA
UTILIZANDO METODOLOGÍA RUSLE CON SIG EN LA CUENCA DEL RÍO
SACANCHE – SAN MARTÍN

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

DEL CASTILLO GONZALES JARDITH JAMES

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°110-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de noviembre de 2023, a horas 10:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA
UTILIZANDO METODOLOGÍA RUSLE CON SIG EN LA CUENCA DEL
RÍO SACANCHE – SAN MARTÍN”**

Presentado por el Bachiller: **DEL CASTILLO GONZALES, JARDITH JAMES**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 13 de diciembre de 2023

Dr. JOSÉ LÉVANO CRISÓSOTMO
PRESIDENTE



Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO

Ing. M.Sc. ERLE OTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 019 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO METODOLOGÍA RUSLE CON SIG EN LA CUENCA DEL RÍO SACANCHE – SAN MARTÍN	DEL CASTILLO GONZALES JARDITH JAMES	21 % Veintiuno

Tingo María, 22 de enero de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Mallqui
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA
UTILIZANDO METODOLOGÍA RUSLE CON SIG EN LA CUENCA DEL RÍO
SACANCHE – SAN MARTÍN

Autor	: DEL CASTILLO GONZALES, Jardith James
Asesor	: Dr. Lucio, MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Programa de investigación	: Gestión de Cuencas Hidrográficas
Líneas de investigación	: Zonificación ecológica y económica
Eje temático de investigación	: Aplicación SIG
Lugar de Ejecución	: Cuenca del Río Sacanche
Duración	: Fecha de inicio: Mayo del 2023 : Termino: Octubre del 2023
Financiamiento	: MONTO s/. 2,978.00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú

2023

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la salud, por proporcionar la voluntad, sabiduría y la fuerza para enfrentar y entender de las cosas que suceden en la vida, confrontando todas las adversidades en el camino, para lograr todos mis objetivos.

A mi padre James Del castillo Gonzáles, hermano Jhony Valles Gonzáles y en memoria de mi madre y abuela, que de Dios Gocen Elba Gonzáles Dávila y Ernestina Dávila Upiachihua quienes, con sus apoyos incondicionales, en lo moral y espiritual, los sabios consejos desde la infancia, me permitieron formarme tanto en lo personal como profesional, y ser una mejor persona.

“Trabaja para conseguir todo lo que deseas. Ora para cuidarlo y agradece para multiplicarlo”
(Williemgc)

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, a los docentes por sus enseñanzas y colaboración en este periodo de estudios quienes refirieron sus experiencias y conocimientos profesionales.

Al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, por su asesoramiento y supervisión durante el periodo de ejecución de este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo, Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo, Msc. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni, por su apoyo y notas necesarias para la ejecución de este proyecto.

A mis amistades a Julio Gómez Gaspar, Julio Raymundo Agui, Richard Loayza Leyva, Carolina López Paredez, Cesar Ruiz Saldaña, quienes con su apoyo durante mi etapa universitaria me ayudaron a seguir adelante día a día.

A toda mi familia por su apoyo moral, sabios consejos, la cual formaron parte de esta etapa profesional.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Marco teórico.....	5
2.2.1. Cuenca hidrográfica.....	5
2.2.2. El suelo.....	5
2.2.3. Erosión del suelo.....	5
2.2.3.1. Tipos de erosión.....	6
2.2.3.2. Erosión de forma natural.....	6
2.2.3.3. Erosión eólica.....	6
2.2.3.4. Erosión hídrica.....	6
2.2.3.5. Etapas de la erosión hídrica.....	6
2.2.4. Factores que originan erosión hídrica.....	7
2.2.5. Tipos de erosión hídrica.....	8
2.2.6. Control de la erosión.....	9
2.2.7. Efecto de la erosión hídrica y su estudio.....	9
2.2.8. Metodología para la cuantificación.....	10
2.2.8.1. Parcelas de escorrentía.....	10
2.2.8.2. Clavos de erosión.....	10
2.2.9. Ecuación universal de pérdida del suelo.....	11
2.2.9.1. Factor (R).....	12
2.2.9.2. Índice modificado de Fournier.....	12
2.2.9.3. Factor de erosionabilidad del suelo (K).....	12
2.2.9.4. Factor LS.....	14
2.2.9.5. Factor L.....	14
2.2.9.6. Gradiente de la pendiente – factor S.....	15
2.2.9.7. Cobertura vegetal – factor C.....	16
2.2.9.8. Prácticas de conservación.....	17
2.2.9.9. Factor A.....	17
2.2.10. SIG en los estudios de erosión hídrica.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19

3.1.	Descripción general de la zona en estudio.....	19
3.1.1.	Ubicación Política	20
3.1.2.	Ubicación geográfica	21
3.1.3.	Clima	21
3.1.4.	Vegetación.....	21
3.1.5.	Geografía.....	21
3.1.6.	Hidrografía	21
3.2.	Materiales.....	21
3.2.1.	Materiales	21
3.2.2.	Equipos.....	21
3.2.3.	Software	21
3.2.4.	Componente de estudio	22
3.3.	Tipo y nivel de investigación.....	22
3.3.1.	Tipo de investigación	22
3.3.2.	Nivel de la investigación	22
3.4.	Diseño de la investigación.....	22
3.4.1.	Flujograma del proceso en la investigación	22
3.5.	Variables en estudio.....	23
3.5.1.	Variable dependiente.....	23
3.5.2.	Variable independiente.....	23
3.6.	Metodología.....	23
3.6.1.	Información preliminar para el estudio	23
3.6.2.	Estimación de la erosividad del suelo R	24
3.6.3.	Determinación de la erodabilidad del suelo K	25
3.6.4.	Clasificación de la cobertura vegetal para el factor C.....	26
3.6.5.	Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS).....	28
3.6.5.1.	Modelo de elevación digital.....	28
3.6.6.	Interpolación de los factores R, K con el método IDW	30
3.6.7.	Factor de prácticas de conservación (P).....	30
3.6.8.	Determinación de la pérdida del suelo por erosión hídrica.....	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Determinación de la pérdida del suelo por erosión hídrica con metodología RUSLE.....	33
4.1.1.	Determinación de las precipitaciones o factor de erosividad R	33

4.1.2. Índice de erodabilidad del suelo o factor K	37
4.1.3. Catalogación de la cobertura vegetal del suelo o factor C	39
4.1.4. Estimación de longitud y gradiente del terreno o factor LS.....	43
4.1.4.1. Método de Renard.....	43
4.1.5. Pérdida del suelo por erosión hídrica potencial.	45
4.1.6. Erosión hídrica actual.....	48
V. CONCLUSIONES	51
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	52
VII. REFERENCIAS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Etapas de la Erosión Hídrica	8
2. Clasificación del IFM para Latinoamerica	14
3. Clasificación de Materia Orgánica	15
4. Parámetros de Estructura del suelo a profundidad de 15 a 18 - superficiales.	16
5. Clases de Permeabilidad según su Textura.	16
6. Clasificación de los grados de Erodabilidad según USDA (1962).....	16
7. Factor LS en función a la pendiente	18
8. Factor C según su cultivo y uso de suelo	19
9. Valores de “P” para cultivo de entorno y su máxima longitud que es permitida entre obras	20
10. Niveles de intensidad de pérdida de suelo.....	20
11. Cordenadas UTM del distrito de Sacanch, provincia de Huallaga departamento de San Martín.....	22
12. Parámetros de Evaluación	25
13. Número de muestras mínimas	28
14. Valor promedio del Factor C	32
15. Clasificación de la pérdida del suelo por Erosión Hídrica	38
16. Determinación de la Erosividad o Factor R.....	39
17. Uso Actual de Tierra.....	46
18. Determinación de la Erosión Potencial	52
19. Determinación de la Erosion Actual.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Etapas de la erosión hídrica	8
2. Metodología de clavo para estimar erosión	12
3. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Sacanche.....	23
4. Flujograma del proceso de investigación	26
5. Flujograma para obtención de factor R	29
6. Triangulo de permeabilidad.....	30
7. Nomograma del factor K	30
8. Flujograma para obtención del factor C	33
9. Esquema metodológico para la obtención del factor LS.	35
10. Esquema metodológico para la determinación de pérdida de suelo por erosión hídrica....	37
11. Esquema metodológico para la determinación de pérdida de suelo por erosión hídrica real y potencial.....	38
12. Valores de erosividad IMF de las estaciones meteorológicas.....	40
13. Mapa de factor de erosividad de la cuenca del río Sacanche	42
14. Mapa de factor de erodabilidad o factor K	44
15. Relación entre componenetes de texttura, % de materia orgánica y factor de erodabilidad K.....	45
16. Mapa de uso actual de tierra o Factor C	47
17. Área total en porcentaje (%) en función del uso y cobertura del suelo	48
18. Área total en hectareas (ha) en función al uso y cobertura del suelo	48
19. Mapa de lonitud y gradiente de la pendiente – método Renard	50
20. Mapa de pérdida del suelo por erosión hidrica potencial	53
21. Erosión hídrica actual expresada en porcentaje %	55
22. Mapa de pérdida de suelo por erosión hidrica actual	57
23. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para factor K	65
24. Reconocimiento de la zona de influencia de la cuenca CC.PP Miraflores.....	78
25. Extracción de la muestra del suelo – muestra 9.....	79
26. Embolsado de la muestra del suelo - muestra 1_.....	80
27. Diversos uso y cobertura en la cuenca del Río Sacanche – suelo desnudo.....	81
28. Diversos uso y cobertura en la cuenca del Río Sacanche - caca.....	82
29. Reconocimiento de los cuerpos de agua	83
30. Estación meteorológica - Bellavista.....	84

31. Estación meteorológica - San Pablo.....	85
---	----

RESUMEN

En la presente investigación se estimó la pérdida del suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche y es que durante los últimos años el aprovechamiento de las tierras agrícolas ha venido progresando considerablemente, la quema para la limpieza de los campos de cultivos, la deforestación, el tractorado y arado en grandes extensiones, expone a los suelos a precipitaciones que propician escurrimiento con poder erosivo, afectando el desarrollo socioeconómico, ambiental y natural de la cuenca.

El objetivo de la investigación es evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica utilizando metodología Rusle con SIG en la cuenca del río Sacanche, ubicada entre las coordenadas geográficas $7^{\circ}04'13''$ de latitud sur y $76^{\circ}42'53''$ de longitud oeste, cuenta con una extensión de 12 410.34 ha y es centro de partida de las provincias Saposoa, Bellavista y Mariscal Cáceres, zona céntrica de la zona sur de la Región San Martín y Huallaga Central. Para ello primeramente se extrajo datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas (Pachiza, San Pablo, Bellavista y Huayabamba en un periodo de cinco años) la cual son cercanas a la zona de influencia, para después estimar el factor R mediante el IMF (índice modificado de Fournier), para el factor K o Erodabilidad se determinó 17 puntos de muestreo, según metodología del número muestra mínimas del MINAM, evaluando parámetros como textura, materia orgánica, permeabilidad y estructura. El factor C se estimó a partir de imágenes satelitales sentinel 2 A y la verificación en campo para posteriormente integrarlo al sistema de información geográfica donde se asignó valores de cada uso y cobertura en la cuenca existente, así mismo el factor LS se evaluó a partir del método Renard et al (1997).

Los valores de factor R oscilaron entre 847.29 a 2,512.62 $Mj*mm/ha*h*año$, para el factor de erodabilidad los valores se encuentran entre 0.034 a 0.066 $tm*ha*h/Mj*mm$, en el factor LS se encontró como resultado valores de 0.029 a 398.64. El área al no contar con cobertura vegetal, los valores adquirieron niveles de 1.08 a 167.628 $tm/ha*año$.

Por último, en la investigación se logró evaluar la pérdida de suelo actual por erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche utilizando Rusle, con valores que se encuentran en 0.00010 a 50.847 $tm/ha*año$, es así como al 50.32% a 22.30 % del área de la cuenca se encuentra en una intensidad de amenaza de baja a media y solo el 0.62% sobrepasa los límites, considerándose crítica.

Palabras claves: Pérdida del suelo erosión hídrica, cuenca, Rusle.

ABSTRACT

In the present investigation, the loss of soil due to water erosion in the Sacanche River basin was estimated and in recent years the use of agricultural land has been progressing considerably, burning to clear crop fields, deforestation, tractor pulling and plowing in large areas, exposes the soil to precipitation that promotes runoff with erosive power, affecting the socioeconomic, environmental and natural development of the basin.

The objective of the research is to evaluate soil loss due to water erosion using Rusle methodology with GIS in the Sacanche River basin, located between the geographical coordinates $7^{\circ}04'13''$ South Latitude and $76^{\circ}42'53''$ West Longitude, has an area of 12,410.34 ha and is the departure center of the Saposoa, Bellavista and Mariscal Cáceres provinces, the central area of the southern part of the San Martín and Huallaga Central Region. To do this, precipitation data was first extracted from the meteorological stations (Pachiza, San Pablo, Bellavista and Huayabamba in a period of five years) which are close to the area of influence, to then estimate the R factor using the IMF (modified index Fournier), for the K factor or Erodability, 17 sampling points were determined, according to the MINAM's minimum sample number methodology, evaluating parameters such as texture, organic matter, permeability and structure. The C factor was estimated from sentinel satellite images to later integrate it into the geographic information system where values were assigned for each use and coverage in the existing basin. Likewise, the LS factor was evaluated using the Renard et al (1997) method.

The R factor values ranged between 847.29 to 2,512.62 $Mj*mm/ha*h*year$, for the erodibility factor the values are between 0.034 to 0.066 $tm*ha*h/Mj*mm$, in the LS factor it was found as result values from 0.029 to 398.64. Since the area did not have vegetation cover, the values acquired levels of 1.08 to 167.628 $mt/ha*year$.

Finally, in the research it was possible to evaluate the current soil loss due to water erosion in the Sacanche River basin using Rusle with values that range from 0.00010 to 50.847 $tm/ha*year$, that is, 50.32% to 22.30% of the area of the basin is in a low to medium threat intensity and only 0.62% exceeds the limits, considered critical.

Keywords: Soil loss, water erosion, basin, Rusle.

I. INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos en el Perú es un problema ambiental muy significativo que induce a la contaminación de aguas, aterramiento de embalses, degradación de los sistemas fluviales y que sobresaltan de manera considerable el espacio nacional en diversos grados de severidad. Las actividades antrópicas acompañadas a ciertos fenómenos naturales influyentes como las precipitaciones de alta intensidad y los vientos aceleran el proceso de la erosión, afectando gravemente el desarrollo sostenible de los recursos socioeconómicos, naturales y del medio ambiente.

Con el pasar de los años las investigaciones en la predicción de la pérdida del suelo por erosión hídrica han venido modificándose con el fin de hallar mayor precisión y cuidado al estudio, es así como Rusle (Revised Universal Soil Loss Equation) método cuantitativo que es aplicable para entornos agronómicos, zonas en construcción, pastizales; determinada por el factor "A" que es producto a los sistemas naturales de la cobertura vegetal, topografía, naturaleza del suelo, práctica de conservación y precipitaciones y es que con esta ecuación se alcanza a conocer la magnitud del problema y así poder tener un mejor control y manejo integrado de la cuenca hidrográfica.

La cuenca del río Sacanche enumera un área de 12,410.34 ha, no es de extrañeza que presentan zonas de suelo perdido por erosión hídrica, considerando que nunca se realizó un estudio en la zona sur de la región San Martín y Huallaga central; debido al crecimiento poblacional durante las últimas décadas el aprovechamiento de las tierras agrícolas ha venido progresando paulatinamente y es que la quema para la limpieza de los campos de cultivos, la deforestación, el tractorado y arado en grandes extensiones para desarrollar el cultivo de café, cacao, maíz, entre otros; expone a los suelos a precipitaciones que propician escurrimiento con poder erosivo, originando que los suelos queden desprovistos de MO como consecuencia pobre en nutrientes. Dado este contexto, la población de los centros poblados y unidades agropecuarias como: collpa, Víctor Raúl, flor de café, Musco, Miraflores, San Miguel, Pongo, Pachillo, Bienvenido, Saldo, Santa Rosa, San Marcos, San Juan, Sacanche, Berlín, Filadelfia, Chimboteoros, Ichichimy zona de influencia de la cuenca del río Sacanche, se ve como consecuencia su pérdida del suelo. Por lo antes expuesto, es importante poner en claro la siguiente problemática: ¿Cuánto es la pérdida del suelo por la erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche? planteando la siguiente hipótesis: La erosión hídrica de la cuenca del río Sacanche tiene una intensidad de amenaza de baja a media. Es así como al aplicar el método

Rusle, estaríamos identificado y evaluando las zonas propensas a la erosión hídrica, buscando alternativas de solución como son los proyectos de reforestación u otros proyectos con el fin de preservar la cuenca, planteándose los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar la pérdida del suelo por erosión hídrica utilizando metodología rusle con sig en la cuenca del río Sacanche – San Martín.

1.2. Objetivos específicos

Estimar la erosividad del suelo R en la cuenca del Río Sacanche.

Determinar la erodabilidad del suelo K en la cuenca del Río Sacanche.

Clasificar la cobertura vegetal del suelo en la cuenca del Río Sacanche.

Estimar la gradiente y longitud del terreno en la cuenca del Río Sacanche.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Pinargote-Chóez et al. (2021) en un artículo científico titulado “Erosión hídrica en la cuenca alta del río Guineal, del cantón 24 de Mayo, Ecuador”, se estimaron la degradación específica del suelo y la repercusión de las precipitaciones pluviales como factor que genera erosión hídrica, Manabí, Ecuador. Los resultados evidenciaron una pérdida de erosión hídrica en las subcuencas (R) Grande de 6.49; R. Guineal de 6.4 y el Congo de 16.6 t/ha/año. Los autores concluyeron que los valores estimados superaron la capacidad tolerable que es de 0.4 – 1.8 t/ha/año, planteado por FAO trayendo como consecuencia que los terrenos agrícolas perdieran su capacidad de producción.

Atauje (2018) en su tesis de pregrado titulada “Evaluación de la erosión del agua para la conservación del suelo y el agua en la cuenca de Huatatas”-Ayacucho – 2017” La erosión hídrica en la Cuenca del Huatatas se evaluó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) utilizando un SIG, como variables se evaluó las pendientes, precipitación, cobertura vegetal y la erosión del suelo. Los resultados evidenciaron que se estimó 15 a 125 t/ha/año que tiene una medida de 12038 ha del total de la cuenca. El autor concluyó que la cuenca no es altamente erosionada y tiene un grado de erosión normal a ligero, con un factor R que va desde 373 a 563 $Mj*mm/ha*h*año$, el factor K que va desde 0.014 a 0.021 siendo de muy poco erodable a medianamente erodable, el factor LS tiene valores de 0.03 a 85, el factor C con valores desde 0.008 a 0.25 y también encontrado áreas de moderada a muy severa bajo las recomendaciones plateadas por el autor son el control de escorrentía, plantaciones de carácter nativo como: Ichu, abonos orgánicos y la rotación de cultivo, lo que permite la mejora y favorecer el estado de textura, minimizar la pendiente, optimizar la capacidad de infiltración y cantidad de MO que ayuda a la producción.

Dioses y Perez (2018) en su trabajo de investigación titulada “Estimación de la erosión hídrica a través de la aplicación del método RUSLE en la cuenca del Río Piura”, estimo la tasa de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Piura mediante la aplicación del método RUSLE, como variables se evaluó la precipitación, textura, taxonomía de los suelos, modelo de elevación digital (MDE), cobertura vegetal y erosión del suelo. Los resultados evidenciaron que se estimó que en el año 1981 se perdió 1,871.67 t/ha/año hasta el año 2016, que se perdió 503.63 t/ha/año. Los autores concluyeron que se perdió en promedio de 0.5 a 5 t/ha/año en la

provincia de Sechura, cuya pérdida de suelo fue de normal a ligero, mientras que se encontró de 5 a 50 t/ha/año en la provincia de Huancabamba y la provincia de Ayabaca, cuya pérdida de suelo fue de moderado a muy severo, esto se debió al efecto del ENOS (Evento del Niño) y de una gran precipitación, los autores mencionan llevar a cabo proyectos de reforestación en las zonas elevadas, sin antes saber sobre el dinamismo florístico de la cuenca y las limitaciones biológicas y físicos del mismo y así mejorar la cobertura vegetal, además incorporan llevar a cabo construcción de diques en los márgenes de ríos con el fin de controlar cárcavas, consolidación de laderas y terrazas.

Cárdenas y Pérez (2021) en su tesis titulada: “Ampliación del modelo Rusle empleando el programa ArcGis para estudiar el cambio morfológico en la cuenca del río mayo, San Martín - 2021”, Evaluaron los cambios morfológicos aplicando rusle y técnicas geoespaciales en la cuenca del río Mayo, San Martín - 2021, como variables se evaluó el modelo rusle y el cambio morfológico de la cuenca. También, obtuvo enfoque cualitativo con alcance descriptivo con un diseño de investigación descriptiva. Los resultados evidenciaron que se encontró una erosión del suelo cuyo valor máximo para el periodo de 1990 a 2014 fue de 463.317 t/ha/año, con un factor R más elevado tiene el valor de 388.74 MJ mm/ha/h/año y el más bajo de 80.40 Mj mm/ha/h/año, cuyo factor C fue de 0.09, con un factor K de los 10 suelos analizados en 7 de ellos es el valor de $0.463 t \cdot h \cdot Mj/mm$. Los autores concluyeron que existe en su mayoría extensión de áreas desbocadas y de uso agrícola, agropecuaria o con vegetación secundaria y que la cuenca es la más propensa a la variación por grado de erosión dentro del área de evaluación porque tiene un valor promedio de 3.2169 t/ha/año. El investigador recomienda realizar investigaciones de las prácticas de conservación de suelos existentes en la cuenca del río Mayo, principalmente en las zonas con menor vegetación, para una estimación más exacta de la pérdida de suelo por erosión.

Calle (2021) en su tesis denominado “Efecto de los cambios de uso de suelo en el aumento de la erosión hídrica mediante de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos en la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional Tabaconas Namballe”, estimaron los daños de la erosión hídrica que surgió por la variación del manejo de la tierra de la zona de amortiguamiento del santuario nacional de Tabaconas Namballe mediante el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, como variables se evaluaron Erodabilidad, erosividad, topografía, cobertura vegetal y prácticas de conservación de tierras. También, consiguió una visión cualitativa con alcance descriptivo, con un diseño de investigación descriptiva. La urbe se compuso por el Santuario Nacional de Tabaconas Namballe y la muestra estuvo constituida por

18 muestras de suelo en el área de evaluación. La técnica de recopilación empleada fue la Ecuación Revisada de Pérdida de suelos Universal (RUSLE), cuyo instrumento fueron las fichas de recolección de datos. El procesamiento de la información fue mediante la estadística descriptiva donde se tuvo que aplicar la media aritmética representando en grafica de barras y circular, para lo cual se empleó el programa ArcMap v 10.7 y el Microsoft Excel 2019. Los resultados estimados fueron un promedio de 1.53 t/ha/año de erosión hídrica potencial, mientras un valor promedio de 35,92/t/ha/año de erosión hídrica efectiva. El autor concluyó que existe variación de manejo de la tierra que presentaron mayores tasas de erosión que el escenario donde no se considera variación de manejo de la superficie.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Es un área delimitada por un conjunto de flujos de agua (ríos, arroyos, etc.). Cada vía fluvial tiene una cuenca claramente determinada en cada punto de su curso. La división de cuencas se realiza en planos o curvas de nivel mediante líneas imaginarias que dividen cuencas adyacentes y dividen directamente el escurrimiento de la precipitación, teniendo en cuenta que cada cuenca debe estudiarse por separado porque las cuencas tienen diferentes formas de escorrentía y generación red de agua. (Villon, 2012).

2.2.2. El suelo

Medio natural donde se despliega todos los seres vivos, esta tiene diversos horizontes formador por elementos meteorizados, masa orgánica, aire y el agua. El origen del suelo se da en función al tiempo y consecuencia de ello el efecto de varios factores como: clima, relieve, fauna, material parental hacen que la estructura del elemento parental cambie la composición, firmeza, contextura, color y características fisicoquímicas (Fao, 2000).

2.2.3. Erosión del suelo

Es un fenómeno geológico concentrado y complejo resultante del derrumbe y migración de partículas y elementos del suelo depositado en otros lugares, es un proceso natural con baja frecuencia de ocurrencia. Este problema se debe en gran medida a la intervención humana, que acelera la erosión e impide su restauración. Los incendios y la deforestación son grandes problemas. Asimismo es uno de los dilemas ambientales y socioeconómicos primordiales a escala global. Se valora que la sexta parte de la Tierra es perjudicada por la erosión hídrica. (Walling y Fang, 2015).

2.2.3.1. Tipos de erosión

El tipo de erosión depende de factores naturales que provocan el proceso, siendo los más comunes, las precipitaciones, vientos, etc. Como en todos los procesos naturales que ocurren en la superficie terrestre, la gravedad juega un papel muy importante incluyendo la formación del suelo o costra rocosa del paisaje gráfico, bajo el estudio de ubicación original para el transporte de cualquier material removido por las actividades y agentes involucrados. (Cajal, 2020).

2.2.3.2. Erosión de forma natural

Los fenómenos que se dan de manera natural y progresiva durante mucho tiempo, con el transcurrir de los procesos va desarrollándose por medio acciones integrales naturales se le conoce como erosión geológica. Siendo un proceso que sus causantes principales son: la lluvia, viento, calor (Icona, 1988).

2.2.3.3. Erosión eólica

Es la pérdida de suelo por disolución, remoción y transporte de partículas de suelo. Este proceso es favorecido por vientos fuertes y a la vez frecuentes, dentro de las características que más se puede percibir es la situación de ausencia o degradación de estructura del suelo con presencia de arrides, precipitaciones bajas, elevadas temperaturas, poca cubierta vegetal, pastores abusivos, quema de residuos agrícolas y laboreo irracional son frecuentemente factores de erosión hídrica (Icona, 1988).

2.2.3.4. Erosión hídrica

Conocido como el proceso por el cual el agua provoca la fragmentación y migración de las partículas del suelo, es un fenómeno natural y lento provocado por el mal uso y manejo de las tierras agrícolas, acelerado por las actividades realizadas en un sitio determinado. La erosión hídrica se define en relación con la descomposición, transporte y sedimentación de partes del suelo bajo la influencia de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial. Cuando llueve, gotas de agua de unos 6 mm de diámetro bombardean el suelo, y es este efecto que la gota lanza partes de suelo y agua en varias direcciones y a distancias de hasta 1 m. (Fao, 1984).

2.2.3.5. Etapas de la erosión hídrica

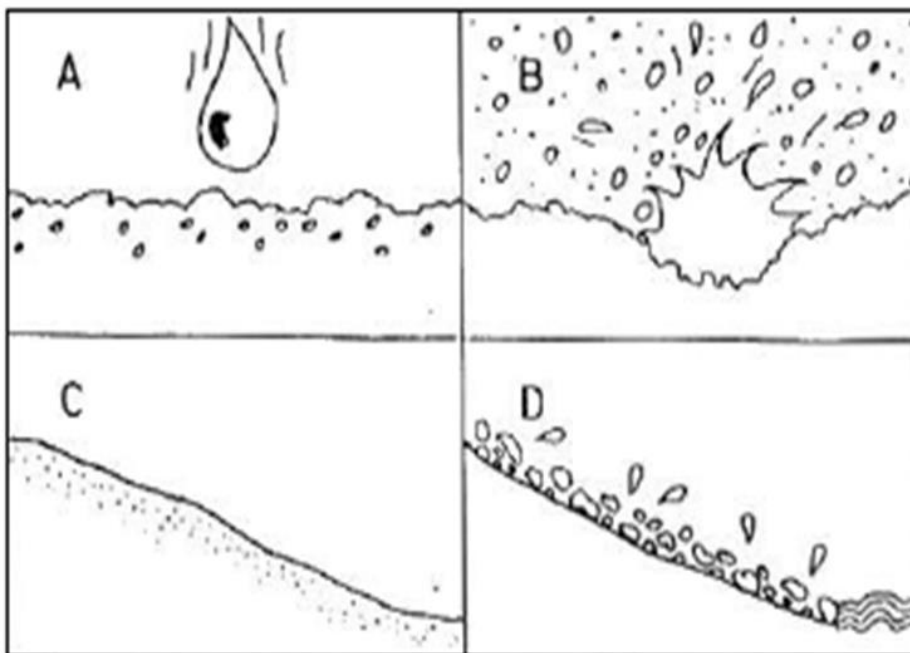
La escorrentía y la erosión del suelo comienzan con la huella de una gota de lluvia en el suelo sin cobertura. Este vigor rompe la tierra en partes muy pequeñas,

cierra los poros y crea un sello en la superficie que evita la rápida infiltración del agua. (Guanca, 2010).

Tabla 1. Etapas de la erosión hídrica.

Etapa	Descripción
A	Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo sin cobertura.
B	Agregado que se desintegran en partículas minúsculas
C	Son los polos que son formador por una selladura superficial.
D	Agua que escurre carga partículas de suelo que son depositados en zonas bajas cuando la velocidad es disminuida.

Fuente: Derpsch *et al* (1991).



Fuente: Derpsch *et al* (1991).

Figura 1: Etapas de la erosión hídrica

2.2.4. Factores que originan erosión hídrica

- Factores climáticos

Es el factor más decisivo en la erosión hídrica, y las precipitaciones son el desencadenante de este proceso. La lluvia de gran volumen o intensidad que excede la tasa de infiltración del suelo provoca esorrentía y, por tanto, erosión. (Farfán, 2002).

- Características del suelo

Las conocidas son textura, capacidad de infiltración en otros aspectos, sobresaltan su erosionabilidad. En la erosión por deslizamiento determinado en la capacidad de infiltración y textura. La textura gruesa de los suelos son lo que tienen mayor infiltración y por

lo tanto el deslizamiento es menor que el suelo de textura fina, siendo más expuesta a la erosión (Guanca, 2010).

- **Vegetación**

La erosión hídrica en la vegetación es de gran importancia ya que el proceso cambia con la época del año, la labranza, el grado de cobertura y la evolución de las raíces y está directamente relacionado con la tasa, el escurrimiento y la infiltración. La presencia de cubierta vegetal determina la absorción de energía de las gotas de lluvia y la tasa de escorrentía. (Guanca, 2010).

- **Topográfica**

El relieve afecta fase mediante la pendiente. Se considera su longitud, pendiente, tamaño y forma. A menudo el grado de pendiente causa problemas más serios que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el resultado varía según el tipo de lluvia, la cubierta vegetal y la estructura del suelo. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será el espesor de la capa de escorrentía o carga hidráulica (Guanca, 2010).

2.2.5. Tipos de erosión hídrica

- **Erosión laminar:** Precisamente en relación con la pulverización de gotas de lluvia, se puede añadir que en las laderas las salpicaduras caen a lo largo de la costa. Si este flujo permanece en forma laminar se denomina erosión laminar, indicando que la erosión laminar es el tipo de erosión que más perjudica a las plantaciones debido a la descomposición y pérdida del primer horizonte A, lo que también afecta a la producción de sedimento en ríos. (Vahrson, 1991).

Las gotas de lluvia que descienden al suelo sin cobertura generan que las partículas se desprendan y al estar sueltas son transportadas tapando los poros y estableciéndose una forma delgada poco permeable y es que cuando el agua rebasa la tasa de infiltración del suelo, el agua comienza a brotar sobre terrenos inclinados. (Vásquez, 2000).

- **Erosión por surcos:** Tiene un aspecto pronunciado porque resulta del escurrimiento superficial del agua de lluvia que se condensa en las capas superiores del suelo y depresiones irregulares donde no hay cobertura o existe un uso inadecuado (Fao, 2000).

En las pequeñas olas en la tierra, el agua de lluvia reúne y, dependiendo de la pendiente, las características del suelo y la cubierta vegetal, el desplazamiento

del agua comienza a contribuir a la pendiente superficial y transportar partículas de suelo que forman pequeños surcos o zanjas (Vásquez, 2000).

- **Erosión por cárcavas:** Se puede indicar que esta erosión se parece a la erosión por surcos sin embargo ocurre en un estado más avanzado. Dependiendo de la pendiente y la longitud de la pendiente, la concentración de agua ocasiona un aumento de tamaño en los surcos hasta que se conviertan en surcos grandes llamados zanjas. La formación de pequeñas zanjas o surcos que se ensanchan por la escorrentía a medida que el suelo continúa arrastrándose a lo largo de la zanja, como consecuencia de lo cual provocan separación de talud y ensanchamiento de los surcos hasta convertirse en zanjas (Fao, 2000).

2.2.6. Control de la erosión

La erosión hídrica resulta en la degradación de la tierra que tiene la mayor parte de su fertilidad. Por ello se necesita combatirlo con métodos de cultivo y producción que conserven el suelo en estado adecuado y evitan los efectos de las gotas de lluvia y escorrentía. Se controla la erosión al reducir los agentes erosivos y la susceptibilidad a la erosión, esto se atenua controlando la cubierta con cobertura para proteger, reducir el volumen de escorrentía y las crestas, reducir la longitud y el tamaño de las pendientes y aumentar la rugosidad de la superficie. La susceptibilidad a la erosión hídrica se reduce al mejorar el uso de la tierra, incluida la conservación de rastrojos y la rotación de cultivo con pastoreo (Mancilla, 2008).

El control de la concentración de escorrentía se realiza mediante terrazas y zanjas, mientras que la degradación del suelo se realiza mediante su cobertura. La medida en que se utiliza una técnica particular o una combinación de técnicas depende de la naturaleza y la gravedad del problema.

2.2.7. Efecto de la erosión hídrica y su estudio

La pérdida de suelo por erosión hídrica sobre los predios de cultivo origina la disminución de la fertilidad y profundidad efectiva del suelo, generando que se intensifique los fertilizantes para que se pueda desarrollar un cultivo de mejoría (Nuñez, 2001), es así como la erosión bajo un proceso acelerado es un factor trascendente que se relaciona de directamente con la desertificación de la superficie (Ocampo, 1996).

2.2.8. Metodología para la cuantificación

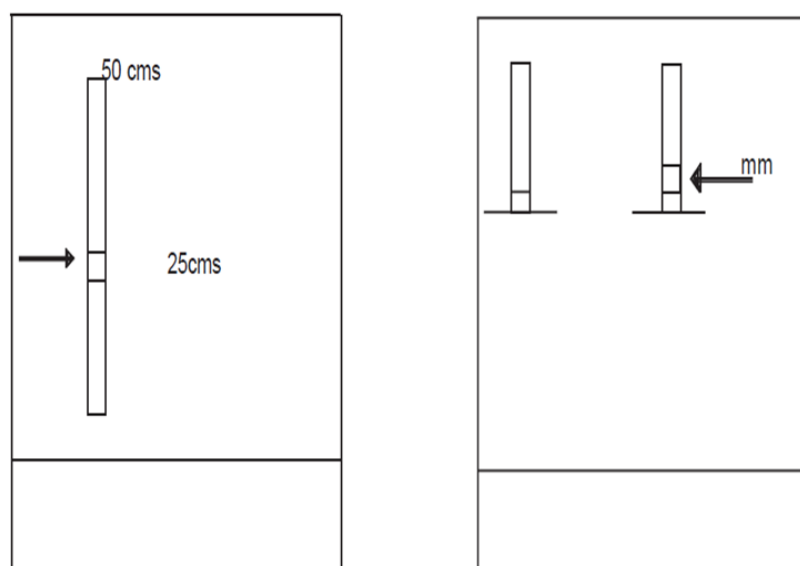
Para la cuantificación de la erosión hídrica en parcelas pequeñas existe dos metodologías (parcelas de esorrentía y clavo de erosión) y las principales para estimar áreas grandes como son cuencas hidrográficas es USLE/RUSLE (Morgan, 1984).

2.2.8.1. Parcelas de esorrentía

Evalúan el factor que influencia la depresión de la tierra, siendo el manejo más relevante para controlar las condiciones de cada parcela. Dentro de características conocidas son: grado de pendiente, longitud de pendiente, tipo de cobertura y suelo, esto asiste a la medición de la esorrentía y la cantidad de suelo degradado. En la mayoría de los casos, el uso de pequeñas parcelas de 100 m², los efectos del biocorte y otros métodos disponibles para parcelas pequeñas también ocurren de forma natural en los campos de cultivo y no afectan el tamaño del área. Por ello se recomienda utilizar un tamaño razonable en unidades métricas, 5 m de ancho y 20 m de largo. (Morgan, 1984).

2.2.8.2. Clavos de erosión

Es el método más sencillo y fácil de aplicar para percibir la degradación de tierra generada por la depresión hídrica (Mendoza, 2005). Este consiste en delimitar parcelas cuadriculadas, en la cual se le entierran clavos largos que sellan la línea del suelo actual. Al realizar la medición de la altura del clavo, obtienen medida de suelo perdido con aquel dato y simple cálculo volumétrico se puede estimar la cantidad de pérdida del suelo (Youlton, 2005).



Fuente: Somarriba *et al* (2005).

Figura 2: Metodología de clavo para estimar erosión

2.2.9. Ecuación universal de pérdida del suelo

Este procedimiento cuantifica y/o evalúa la pérdida de suelo siendo muy reconocidos y utilizados a nivel macro. (Zingg, 1940) vinculó la depresión con el declive y la inclinación. Foster *et al.*, (1997) integra factores climáticos basados en la precipitación máxima o da cuenta de nuevos factores dependiendo del tipo de cultivo (Smith, 1958).

Esta ecuación predice la cantidad de suelo perdido por la erosión hídrica en diversos empleos de la tierra utilizando 6 factores en su modelo matemático:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Donde:

A: Cantidad de suelo erosionable, medida en toneladas por hectáreas, es calculado por los factores estudiados.

R: Es el que representa el factor de lluvia que forma un índice de (EI30), una medida de las fuerzas erosivas de lluvia y escurrimiento asociado.

K: Factor de Erosión, evalúa la sensibilidad del suelo y estudia algunas propiedades de las partículas formadoras del suelo.

L: Factor de la longitud de pendiente, señala la correlación existente entre la pérdida de suelo con la longitud bajo una pendiente determinada.

S: Factor gradiente de la pendiente, señala el grado de inclinación del terreno en una longitud, teniendo mayor influencia en áreas sin ningún tipo de cobertura.

C: Este factor expresa la correspondencia de desgaste de suelo con una zona con alguna cobertura natural con diferentes características y otras con las mismas propiedades, pero sin ningún tipo de cubierta.

P: Es uno de los factores más determinantes, prácticas para conservar el crecimiento de cultivo en terrazas es decir labranza en sentido del pendiente expresado en la relación con la pérdida del suelo.

2.2.9.1. Factor (R)

El coeficiente R se obtiene desde de la energía cinética que libera la lluvia (E) y la intensidad máxima de lluvia (I30) en el intervalo de tormenta de 30 minutos analizando la información obtenida de las estaciones de lluvia (Eva Colotti-Bizzari, 1999). En muchas áreas con información insuficiente, se decidió utilizar el método del índice de Fourier Modificado IFM, también conocido como índice de agresividad de la lluvia.

2.2.9.2. Índice modificado de Fournier

Este indicador revisado tiene en cuenta la precipitación en todos los meses del año considerando algunas regiones con precipitaciones superiores al máximo mensual y regiones con mayor precipitación (Mancilla, 2008).

Es así como el IFM, es más adoptado y utilizado donde no se dispone de datos pluviométricos detallados, ya que el índice alcanza resultados muy cercanos al coeficiente R (Farfán, 2022).

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{P} \quad (2)$$

Donde:

I: Número del mes

P: Precipitación Mensual “mm”

P: Precipitación promedio anual en “mm”

Tabla 2. Clasificación de IFM para Latinoamérica

Clase	Rango	Calificación
1	Menor de 60	Muy bajo
2	60 - 90	Bajo
3	90 - 120	Moderado
4	120 - 160	Alto
5	Mayor de 160	Muy Alto

Fuente: Lobo et al. (2006), citado por Ramírez et al., (2007)

2.2.9.3. Factor de erosionabilidad del suelo (K)

Representa la réplica del suelo a la energía o mecanismo de erosión, aduciendo a la susceptibilidad de la superficie a la erosión, también se desarrollaron monogramas de erosionabilidad donde los valores de K se relación gráficamente con las características del suelo. Este monograma permite el cálculo del valor K, que actualmente es la forma más común de encontrar este parámetro (Wischmeier *et al*, 1978).

Los suelos que conservan una buena cohesión son a su vez menos susceptibles a la erosión esto debido a que las partículas se adhieren y condescienden a que el agua penetre, es así como lo agregados se dispersan y las partículas se rompen fácilmente, los fatuos se obstruyen y el agua fluye hacia la superficie en lugar de filtrarse. Sin embargo, existen otros elementos que traen consigo la erosión de la tierra, la permeabilidad y materia orgánica.

Los suelos con capacidad considerable de arcilla poseen valores inferiores en K, consecuencia de la resistencia a desprenderse de las fracciones del suelo, sin embargo, los suelos arenosos cuentan también con valores bajos en erodabilidad siendo fácilmente erodable, suelos como la de textura franco cuenta con valores de erodabilidad de 0,25 a 0,4 siendo susceptibles a la liberalidad, consecuencia de ello genera escorrentía moderada. Suelos con alta capacidad aluvial son más suspicaces a la depresión ya que se eliminan fácilmente, su valor en K oscila en un rango superior a 0,4 (Velásquez y Ramírez, 2010).

La materia orgánica al ser una mezcla de compuestos químicos provenientes de algunos seres vivos tiene la propiedad de mejorar la estructura, permeabilidad y reduce la erosión, sin embargo, la escorrentía aún puede transportar grandes agregados a altas velocidades. La permeabilidad en la sección transversal del perfil es considerable por su autoridad en la escorrentía (Velásquez, 2008).

Tabla 3. Clasificación de M.O.

Clasificación	%M. O	Calificación
1	Menor de 1%	Muy bajo
2	1 - 1.5%	Bajo
3	1.5 - 2.5%	Medio
4	2.5 - 6%	Alto
5	Mayor a 6 %	Muy Alto

Fuente: IDEAM (1999).

Tabla 4. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 – Superficiales

Clasificación	USDA (1983)
1	Granular y Migajoso muy fino (< 1mm)
2	Granular y Migajoso fino (< 1 - 2 mm)
3	Granular y Migajoso Medio (2 - 5 mm) y granular grueso(5 - 10 mm)
4	Granular y prismático muy grueso y columnar (> 10 mm)

Fuente: Manual N° 430 USDA (1983)

Tabla 5. Clases de permeabilidad según su textura.

USDA (1983) Textura	Tipo de permeabilidad	Rawis <i>et al.</i> (1982) Kfs (m/día)	Hudson (1982) Kfs (m/día)
Arenosa	Rápida y muy rápida	> 1.463	> 3
Arenoso Franco, Franca arenosa	Moderada a rápida	0.486 - 1.463	1.5 - 3
Franca, Franco limoso, limosa	Moderada	0.122 - 0.488	0.48 - 1.5
Franca arcilla arenosa, franca arcillosa	Lenta a moderada	0.049 - 0.122	0.12 - 0.48

Fuente: USDA (2005).

Tabla 6. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)

Valor de K (T ha. H/Mj MM ha.)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Medianamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente: Amesquita (1990)

2.2.9.4. Factor LS

Los factores no son independientes (longitud y pendiente) por su acción sobre la erosión, es así como el resultado de la topografía como factor en la depresión explicada por la multiplicación de estos subcomponentes, longitud y la pendiente (CENEPRED, 2013).

2.2.9.5. Factor L

Este factor es la longitud de la pendiente y simboliza un resultado sobre la erosión, siendo la cantidad de suelo perdido frente a la pendiente para una parcela de 22.13 m en el mismo tipo de suelo. La longitud de la pendiente este determinada por la distancia a lo largo de la ruta de escorrentía desde el origen de la escorrentía hasta el punto de la concentración del flujo o separación de los sedimentos del suelo (Flores, 2015).

Determinación por método Renard

El factor LS se estimó al aplicar la ecuación utilizada en el modelo de estimación de pérdida de suelo (RUSLE) (Renard *et al*, 1997).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.12}\right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin\beta/0.0896}{\alpha(\sin\beta)^{0.5}+0.50} \quad (3)$$

El factor L con la zona de drenaje apartadora (Desmet y Govers, 1996).

$$L = \frac{(A_{(i,j)}+D^2)^{m+1}-A_{(i,j)}^{m+1}}{D^{m+2}*(22.13)^m} \quad (4)$$

Donde:

λ : Es la longitud de la pendiente (m).

m : Es el exponente de la longitud de la pendiente.

β : Es el ángulo de la pendiente.

2.2.9.6. Gradiente de la pendiente – factor s

El factor S ángulo, que es el ángulo promedio de todas las subredes en la dirección de mayor inclinación (Barrio, Quiñonez, 2000).

$$S_{(i,j)} \begin{cases} 0.8 \sin\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 6.8 \sin\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (5)$$

Al utilizar esta fórmula en la “Calculadora Raster” de ArcGIS se considera que el ángulo debe ser a radianes (1 grado sexagesimal = 0.01745 radianes) antes de que multiplique por los demás elementos la ecuación universal (Velásquez, 2008).

Determinación por método Mintegui

Esta metodología de fácil aplicación en una tabla que permite asegurar directamente los valores al factor “LS” (Adicional) según la pendiente del terreno. La asignación de valores fue calculada por estudiantes de la facultad de hidrología en la Universidad de Madrid, España (Cabrejos, 2016).

Tabla 7. Factor LS en función a la pendiente.

Gradiente de pendiente	Factor LS
0 - 3	0.3
3 - 12	1.5
12 - 18	3.4
18 - 24	5.6
24 - 30	8.7
30 - 60	14.6
60 - 70	20.2
70 - 100	25.2
Más 100	28.5

Fuente: Mintegui (1983).

2.2.9.7. Cobertura vegetal – factor c

Este factor indica cuanta protección proporciona al suelo bajo un determinado tipo de cubierta vegetal porque, como sabemos ayuda a detener la erosión del suelo (Mancilla, 2008). (Wishmeier y Smits, 1978) propusieron en su modelo un valor de este parámetro entre 0 y 1, que dependiera del tipo de vegetación que existe y de la cantidad de su cubierta. Este factor es muy importante en USLE porque no importa lo accidentado que sea el terreno, la erosión será mínima si la vegetación está bien desarrollada, basándose principalmente en la relación estándar. El factor “C” indica los efectos de las plantas, biomasa del suelo y las actividades de los disturbios que en los procesos radica erosión, siendo en sinopsis una tasa de mitad ponderado con respecto al factor R durante la evaluación.

Tabla 8. Factor c según su cultivo y uso de suelo.

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,00
Bosque	0,001
Arroz	0,60
Caña de azúcar	0,10 - 0,20
Arbolado denso	0,001 - 0,003
Arbolado forestal claro	0,003 - 0,009
Arbolado forestal muy claro	0,041
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Purma	0,035
Cubierta escasa	0,15 - 0,09

Fuente: Wishmeier y Smith (1978).

2.2.9.8. Prácticas de conservación

Expresa la relación entre la pérdida del suelo que se produce bajo determinadas medidas de conservación y el deterioro que se produce en la misma zona sin medida de conservación. El valor de este parámetro está entre 0 y 1. Estas prácticas pueden ser zanjadas de infiltración en protección de pastos y las terrazas, entre otras (Ferran, 2007).

En el lugar de evaluación no se observa prácticas de conservación, es entonces que no se considera, sin embargo, tomamos como referencia ciertas tablas:

Tabla 9. Valores de “P” para cultivo de entorno y su máxima longitud que es permitida entre obras.

Gradiente de pendiente %	Factor P	Máxima longitud de pendiente (m)
(1 - 2)	0.6	120 - 180
(3 - 5)	0.5	90 - 100
(6 - 8)	0.5	60 - 65
(9 - 12)	0.6	40
(13 - 16)	0.7	25
(17 - 20)	0.8	20
(21 - 25)	0.9	15

Fuente: Wischmeier y Smith (1978) citado por INTER (2005)

2.2.9.9. Factor A

Es el fruto de los 6 componentes mencionados líneas arriba, este modelo que proviene del USDA, el cual trabajó en el problema desde principio del siglo y logró inspeccionar más de 10 mil parcelas por año, por lo que en 1945 presentó el modelo USLE.

La pérdida del suelo en un rango de “aceptable” depende de sus contextos: un suelo profundo con fertilidad semejante a lo largo de la sección transversal consta de una pérdida de 25 mm en 30 años es mucho menor a la de un suelo de pocos centímetros que reposa sobre roca dura. (Nuñez, 2001).

Es importante destacar que los valores límites internacionalmente reconocidos de los parámetros permisibles tras la pérdida de suelo por erosión hídrica varían de 10 a 12 t/ha/año, y en superficie húmeda se pueden permitir hasta 24,5 t/ha/año. Los intervalos no brindan protección a las tierras agrícolas. (Ramos, 2001).

Tabla 10. Niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Intensidad de amenaza	Pérdida de suelo (tn/ha/año)
Baja	(Menor a 5)
Moderada	(5 - 25)
Media	(25 - 50)
Alta	(50 - 100)
Muy Alta	(100 - 200)
Crítica	(Más de 200)

Fuente. Adaptado por FAO, UNESCO, PNUMA (1980) citado por EDESCO (1997), Ramos (2001,2009), Velásquez, (2008) y Ramírez (2010).

2.2.10. SIG en los estudios de erosión hídrica.

Los trabajos de SIG ofrecen grandes ventajas a la hora de trabajar grandes espacios, permitiendo construir la realidad en base a la información recogida en campo, pero en el caso de componer y examinar la pérdida del suelo por erosión hídrica, admitiendo sobreponer distintas variables que actualmente debe estar en formato de capa raster o vectorial, por lo que se puede decir que al implementar estas proporcionalidades geoespaciales para el análisis de erosión hídrica en el suelo, Gis tienes una ventaja considerable bajo el procesamiento y manipulación de cantidad de datos involucrados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general de la zona en estudio.

Fue desarrollado en la cuenca del río Sacanche, distrito de Sacanche que abarca la provincia de Huallaga en la región San Martín. La cuenca en estudio se describe con una extensión de 12,410.34 ha, abarcando un 0.38 % de toda la región San Martín. Es centro de partida de las provincias de Bellavista, Huallaga y Mariscal Cáceres; cuyas coordenadas UTM se muestran en la tabla 11 y Figura 3.

Tabla 11. Coordenadas UTM del distrito de Sacanche, Provincia Huallaga, departamento de San Martín.

Distrito	Este	Norte	Altitud
Sacanche	310608	9218133	272 m.s.n.m

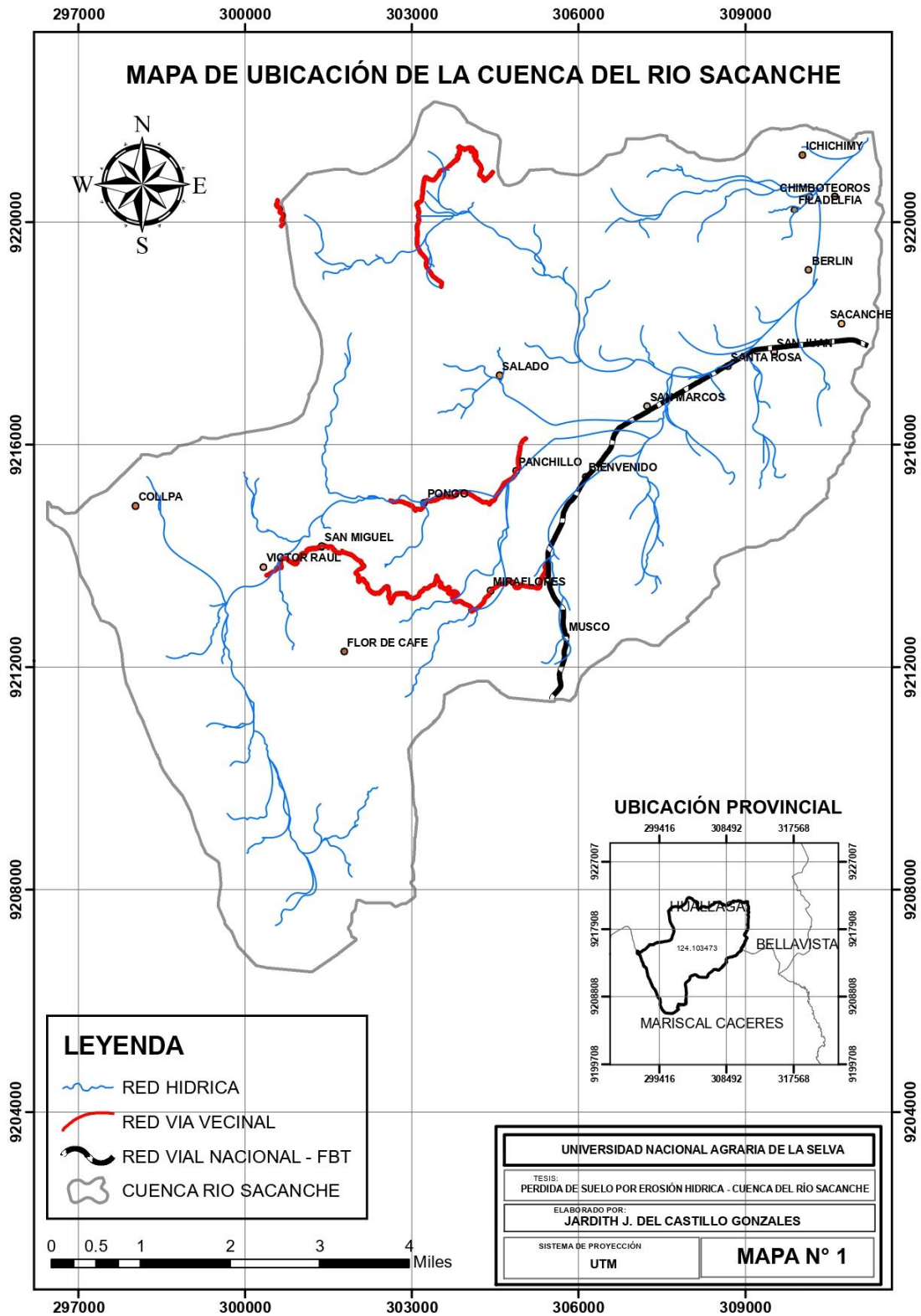


Figura 3. Cuenca del río Sacanche

3.1.1. Ubicación política

Distrito : Sacanche
Provincia : Huallaga
Departamento : San Martín

Cuenca : Río Sacanche

3.1.2. Ubicación geográfica

La cuenca en estudio del río Sacanche geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM, 310608 este y 9218133 norte, con una altitud de 272 m.s.n.m.

3.1.3. Clima

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. [SENAMHI] (2010) manifiesta que el distrito de sacanche corresponde a la clasificación semi-calido-humedo y en otoño como primavera, clima cálido - húmedo, contando con una temperatura máxima de 36.8 °C y una temperatura mínima de 21.6 °C, siendo su humedad relativa con 77.67%.

3.1.4. Vegetación

La cuenca en estudio posee una cobertura Arbórea latifoliada, siendo principalmente bosques secundarios y minoritariamente (menos del 30%) bosques primarios.

Debido a los procesos migratorios en la etapa de construcción de la carreta Fernando Belaunde de Terry, el área boscosa de la cuenca sufrió fuertes impactos ambientales siendo de carácter considerable la actividad agrícola.

3.1.5. Geografía

La cuenca del río Sacanche es considerado centro de la zona sur de la región San Martín, por ser partida de provincias de Huallaga, Bellavista y Mariscal Cáceres. Este distrito cuenta una superficie total de 150.00 km² y una densidad poblacional de 64,32 hab/km².

3.1.6. Hidrografía

La hidrografía del río Sacanche nace del cerro shushupe producto de un ojo de agua, que continúa su recorrido hasta desembocar en el río Tingo de Saposoa y esta unión finaliza en el río Huallaga, afluente del río Marañón.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron para la ejecución del estudio fueron: cartas nacionales 14 j, 15j, zonas 18 a escala 1:1000,000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Registro de precipitaciones totales mensuales y anuales observadas en las estaciones meteorológicas San Pablo, Huayabamba, Bellavista y Pachiza e Imágenes satelitales sentinel 2 A, fichas técnicas de cadena de custodia de muestras.

3.2.2. Equipos

GPS, cinta métrica de 50 cm, botas, pala recta, bolsa de polietileno.

3.2.3. Software

Gis, Hoja de texto (Word), Hoja de cálculo (Excel)

3.2.4. Componente de estudio

Tabla 12. Parámetro de evaluación

Parámetro	Símbolo	Característica
Precipitación	Pp	Datos Pluviométrico expresado en mm/mes
Textura	Tx	Hidrómetro Bouyoucos
Permeabilidad	K	Expresada en m/día
Materia Orgánica	M.O	Walkley y Black

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Es no experimental ya que no se manipuló deliberadamente las variables que se busca interpretar, contemplando las observaciones de los fenómenos en un ambiente natural, brindando un diagnóstico en forma rigurosa de la realidad de la cuenca y su valor en la pérdida del suelo por la erosión hídrica.

3.3.2. Nivel de la investigación

Es descriptivo - explicativo porque se identificó los factores generadores de erosión hídrica como erosividad (factor R), erodabilidad (factor K), topografía (factor LS), cobertura vegetal (C) y cómo influyen en la cuenca, a través de datos estadísticos, correlaciones, etc; recogiendo datos sobre los conceptos o variables a las que se refieren y explicativo porque se comprende y se explica cómo ocurrieron estos fenómenos para así evaluar e identificar las zonas propensas a la pérdida de suelo y su nivel de intensidad (baja, media o alta) manejando herramientas del SIG.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Flujograma del proceso en la investigación

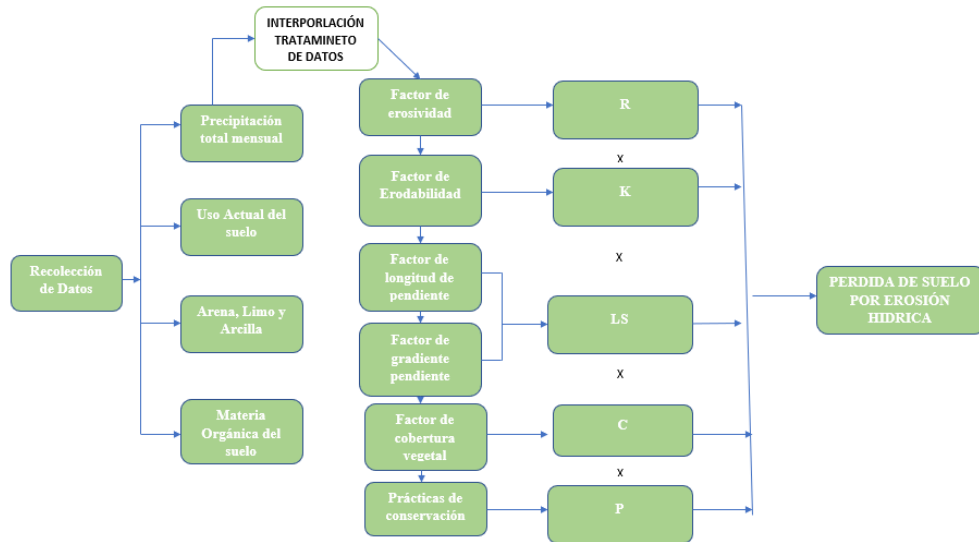


Figura 4: Flujograma del proceso de investigación

3.5. Variables en estudio

3.5.1. Variable dependiente

Perdida del suelo (t/ha/año); (A)

3.5.2. Variable independiente

- Erosividad de la lluvia (R).
- Erodabilidad del suelo (K).
- Gradiente de la Pendiente (S).
- Longitud de la pendiente (L).
- Cobertura vegetal (C).
- Prácticas de conservación de suelos (P).

3.6. Metodología

3.6.1. Información preliminar para el estudio

- **Número de muestras de suelos**

Se estableció la zona área de interés de la cuenca del río Sacanche al contar con una dimensión de 12,410.34 ha; la investigación seleccionó la metodología del MINAM a través del tamaño del número de muestras mínimas en función a la superficie total del área.

$$N = a + b(S) \quad (6)$$

Donde:

N= Superficie total de la muestra (ha)

S= Superficie total a evaluar en el área de interés

a = 5

b = 0,001

$$N = 5 + 0.001 (12,410.34)$$

$$N = 17.410 = 17 \text{ Puntos de muestreo}$$

Tabla 13. Número mínimo de muestras

Mínimo de muestras A	Constante	s (ha)	N
5	0.001	< 1 000	6
5	0.001	5 000	10
5	0.001	10 000	15
5	0.001	20 000	25
5	0.001	30 000	35
5	0.001	> 50 000	45

Fuente: MINAM, 2019

- **Información cartográfica**

Por las características de la investigación se recopiló la información del Instituto Geográfico Nacional, cartas nacionales de escala 1/100 000, MINAM, MTC, MINEDU, red hidrográfica, centros poblados, curvas de nivel en formato shapefile con el fin de crear un mapa base para la orientación de la investigación.

- **Información espacial**

Con la información cartográficas recopilada, realizamos el procesamiento del DEM (Modelo de elevación digital) que involucra la orto rectificación con el sistema de información geográfica, realizando la validación en base a la cartografía oficial.

- **Análisis de suelo**

Para el análisis de suelo se procedió a excavar la superficie del suelo entre 0.10 a 0.20 m de profundidad y 0.15 m de ancho, obteniendo un kilo por muestra. Son 17 número de muestras que fueron analizados por la empresa corporación Delca en la ciudad de Tarapoto.

3.6.2. Estimación de la erosividad del suelo R

Para la hallar el índice de erosividad y elaborar el mapa, en inicio se trabajó con el registro de datos pluviométricos (mm), que fue proporcionado por las estaciones meteorológicas del área de influencia de la cuenca y cercanas a ella, en la que podemos conocer a las estaciones de San Pablo (2018-2022), Huayabamba (2018-2022), Bellavista (2018-2022) y Pachiza (2018-2022), a través del almacenamiento de los datos de precipitación mensual y anual, posteriormente después realizar el análisis de consistencia de cada estación. Para el cálculo del factor erosivo (R), este estudio utilizó una modificación del índice de Fournier postulado por la (FAO, 1990).

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P^2}{P} \tag{7}$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia,

P² = Precipitación mensual en “mm”;

P= precipitación promedio anual en “mm”

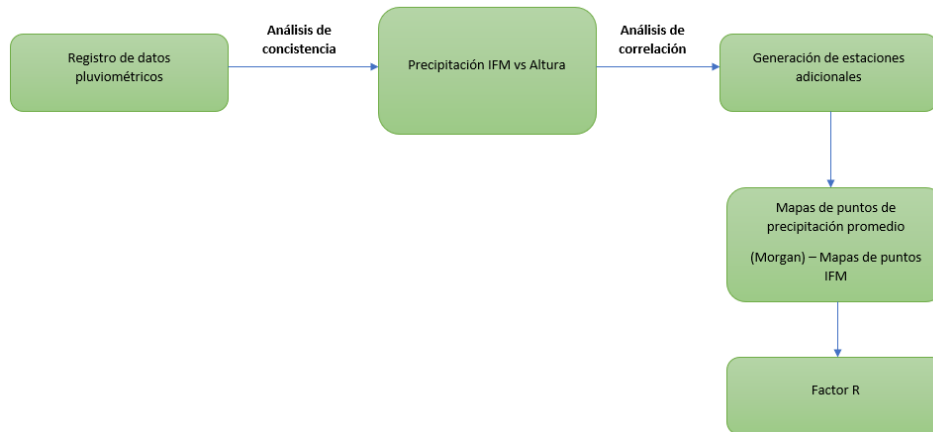
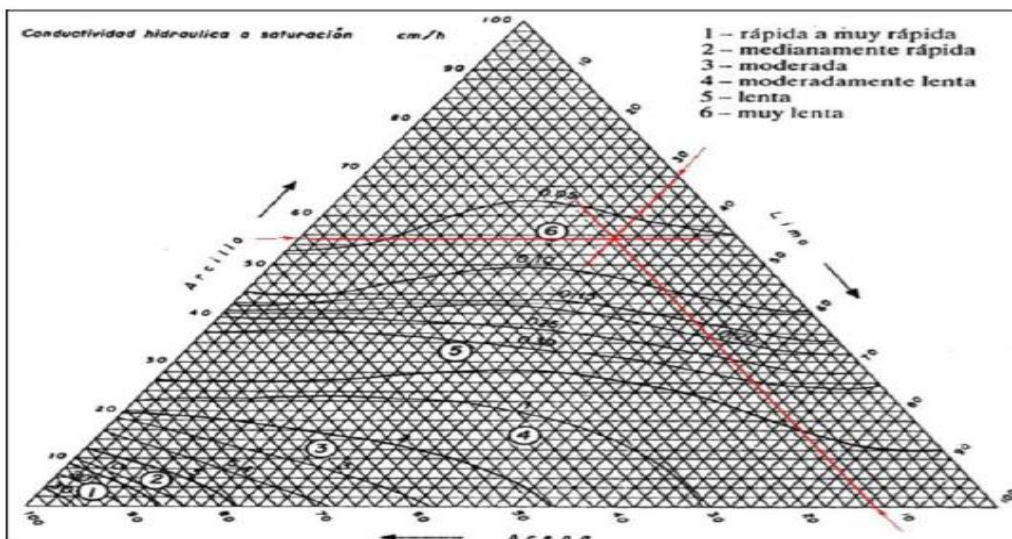


Figura 5: Flujograma para obtención de factor R

3.6.3. Determinación de la erodabilidad del suelo K

A partir de los resultados del análisis de muestras de suelo de la empresa corporación Delca se determinó el factor de erosionabilidad (factor k) y con base en estos resultados (textura) se calculó la permeabilidad en el triángulo de permeabilidad.

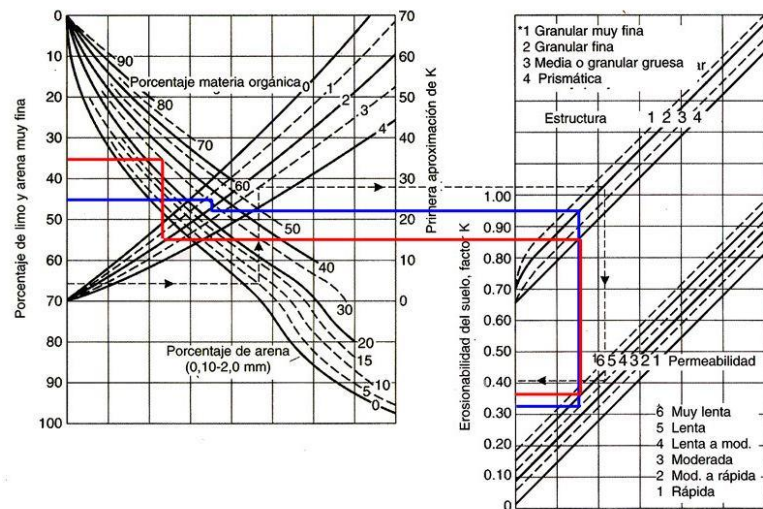
Fuente: NCRS, 1993



Triángulo de permeabilidad

Figura

6:



Fuente. Wishmeier & Smith, 1978

Figura 7: Nomograma del factor K

Posteriormente, se calculó el componente K en una hoja de cálculo de Excel para todos los puntos de muestreo utilizando la siguiente ecuación, iniciativa (Wishmeier, 1978) y modificada por FAO (1990).

$$K = (2.713 \times 10^{-6}) * (12 - Om) * M^{1.14} + 0.0325 * (s - 2) + 0.025 * (p - 3) \quad (8)$$

Donde:

Om: Porcentaje de materia orgánica

M: parámetro de fracciones finas

s: Índice de estructura

p: Clase de permeabilidad

3.6.4. Clasificación de la cobertura vegetal para el factor C

- **Proceso de imágenes satelitales**

Se descargó las imágenes satelitales sentinel 2A del año 2022, con resolución espacial de 10 m, después se realizó el procesamiento de la validación georreferenciada, se utilizó por los investigadores (Porta y López, 2003) definiendo los valores del factor “C” para los usos y coberturas vegetales próximo a ello registrados a la tabla de atributos de la capa de cubiertas y manejo de tierras según los valores estimados, dicha capa se convirtió en formato raster según el factor, siendo así que estos valores oscilados entre 0.0001 a 1 correspondiente a terrenos agrícolas.

- **Clasificación no supervisada**

Se definió la cobertura y uso de la tierra, a través de la jerarquización de la cobertura y uso de tierra precisando los tipos de cobertura homogénea y excluyente a diferentes escalas en la zona de estudio.

- **Verificación en campo**

Este proceso de clasificación se hizo utilizando la herramienta del sistema de información geográfica (Gis), se cargó la imagen satelital sentinel 2A y las respectivas coordenadas en campo, principalmente aquellas zonas que cuentan con mayor complejidad para su identificación y localización de los distintitos tipos de cobertura, con el fin de realizar las correcciones necesarias y asegurar la calidad de los resultados.

- **Clasificación supervisada**

El proceso fue realizado con un programa SIG que cargó imágenes del satélite Sentinel 2A y coordenadas tomadas en el sitio. Luego se examinó cada superposición identificada en busca de propiedades espectrales y se le asignó un nombre único; Las capas de cobertura y uso del suelo se produjeron en formato ráster y se convirtieron a formato vectorial para su posprocesamiento.

Tabla 14. Valores promedios del factor C

Cultivo y práctica	Valor del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Sabana o pradera herbácea sobre pastada	0.1
Maíz, Mijo: con laboreo convencional	0.20 - 0.55
Algodón	0.40 - 0.70
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Trigo	0.10 - 0.40
Arroz	0.10 - 0.20
Palmera	0.10 - 0.30
Piña	0.10 - 0.40
Caña de Azúcar	0.13 - 0.40
Cafeto	0.05
Plátano	0.05 - 0.10
Papaya	0.21

Fuente: Porta y López, 2003

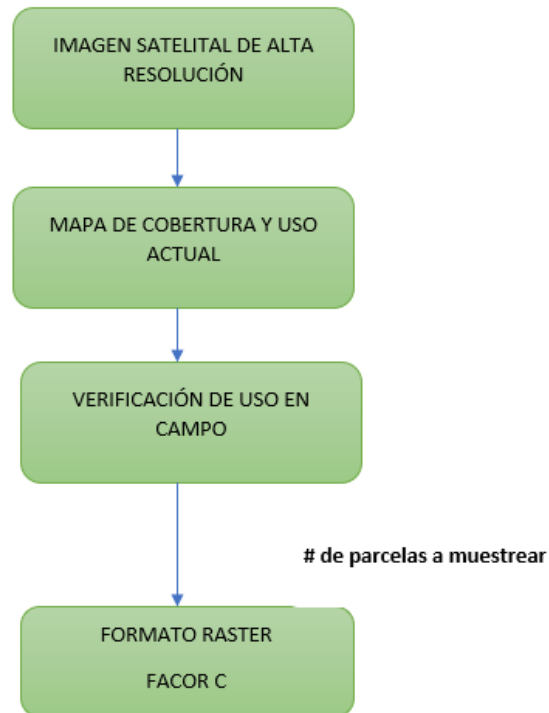


Figura 8: Flujograma para obtención del factor C

3.6.5. Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS)

Según Ramírez (2010), a este elemento también se le llama elemento topográfico porque describe el efecto de la topografía sobre la pérdida de suelo, reflejando el efecto de la longitud y el nivel de la pendiente. Los cálculos de elementos LS incorporan información cartográfica como modelos de elevación digitales derivados de mapas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

3.6.5.1. Modelo de elevación digital

- **DEM**

Se generó un modelo de elevación digital (DEM) de la cartografía base a escala 1:100.000, utilizando la herramienta del SIG la herramienta gradiente de la caja de herramientas de estudio espacial de ArcGIS. Como resultado, se obtuvo una capa ráster de pendiente y se crearon una capa de acumulación y una capa de dirección de flujo utilizando el DEM.

- **Valor del Factor L**

Para la decisión del subcomponente “L” fue usado la herramienta “Calculadora Raster” del programa Arcmap, para lo cual se utilizó fórmulas de acuerdo con la metodología de (Foster et al, 1977; Velázquez, 2008), donde estima la unidad de área que contribuye a la entrada.

$$L = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{D^{m+2} * (22.13)^m} \quad (9)$$

$$m = F/(1+F)$$

Donde:

L = factor de longitud de la pendiente,

m = exponente adimensional,

i, j = es el área aportadora unitaria a la entrada de un píxel (celda),

D = es el tamaño del píxel del raster.

F = se define con la siguiente ecuación.

$$F = \frac{\sin\Phi/0.0896}{3*(\sin\Phi)^{0.8}+0.56} \quad (10)$$

Donde:

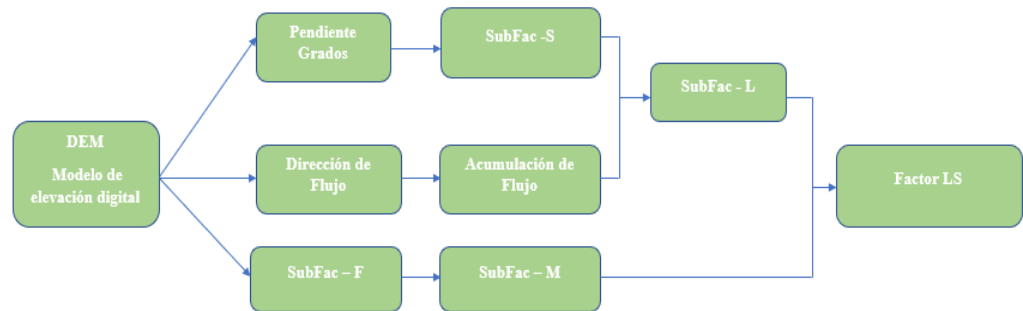
Φ = Pendiente en grados, se multiplicará por “0.01745” para conseguir datos en radianes, tal como lo solicita la ecuación.

- **Valor factor S**

Para establecer el 'elemento 'S' se usó como entrada la capa de calificación en grados, fue utilizado la herramienta 'Calculadora Ráster' a través de iniciativa la de (Barrios y Quiñonez, 2000). Allí se comparan las respectivas pendientes. Píxeles con un gradiente de precio unitario del 9 %, dado por la fórmula:

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (11)$$

Como resultado, al implementar la herramienta “Calculadora Raster” del programa del SIG ArcGis, se multiplicaron los subcomponentes “L” y “S” para conseguir una capa raster con valores topográficos “LS” a nivel de cuenca del río Sacanche.



Fuente: Solano Roosevelt, 2016

Figura 9: Esquema metodológico para la obtención del factor LS

3.6.6. Interpolación de los factores R, K con el método IDW

Para el factor R se introdujo la cuenca en estudio y las 4 estaciones de la zona de influencia creando un shape, después se ingresó a la herramienta “interpolación raster” para ejecutar el procedimiento de ponderación de distancia inversa (IDW), posterior a ello agregamos las precipitaciones creándose un raster y para el mejoramiento de los datos se creó estaciones adicionales en la cuenca cada 30 metros, pasamos a la herramienta “entidades” agregamos las estaciones creadas y extraemos los valores según puntos de la precipitación del raster IDW y el entorno de la extensión de la cuenca del río Sacanche. Al obtener los valores del índice modificado de Fournier de las 4 estaciones, finalizamos el proceso al fusionar las estaciones adicionales creadas con el respectivo IMF y las estaciones consistentes en la tabla de atributos, después interpolamos para el área general de la cuenca y posteriormente a ello cometemos un corte en el polígono de la cuenca denotando el IMF para la cuenca del río Sacanche.

Una vez que se obtienen estos K componentes, los datos especificados se introducen en un programa SIG que genera un shapefile (vector) de puntos de muestreo que contiene el elemento "K" en uno de los campos. Para cada muestra, se interpola utilizando un procedimiento de ponderación de distancia inversa (IDW), lo que da como resultado una capa ráster erosionada.

3.6.7. Factor de prácticas de conservación (P)

Se asumió un factor de práctica de conservación, o factor "P", de 1 cuando se determinó que no se está realizando conservación de taludes o barreras en la cuenca del río Sacanche para evitar la erosión del suelo.

3.6.8. Determinación de la pérdida del suelo por erosión hídrica

Para (Almorox et al., 1994) La Ecuación Global de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) es un método cuantitativo para estimar indirectamente la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica, está determinada por el factor "A". Se hace modelando la respuesta de los sistemas naturales del suelo a la lluvia. Esta ecuación es un modelo paramétrico que asigna significativamente seis respuestas a características ambientales definidas de erosión, todas las cuales se consideran independientes.

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (12)$$

Donde:

A: Pérdida de suelo por erosión hídrica.

R: Factor de erosividad.

K: Factor de erodabilidad del suelo.

L: Factor de longitud de pendiente.

S: Factor de gradiente de pendiente.

C: Factor de cobertura vegetal.

P: Factor de prácticas de conservación.

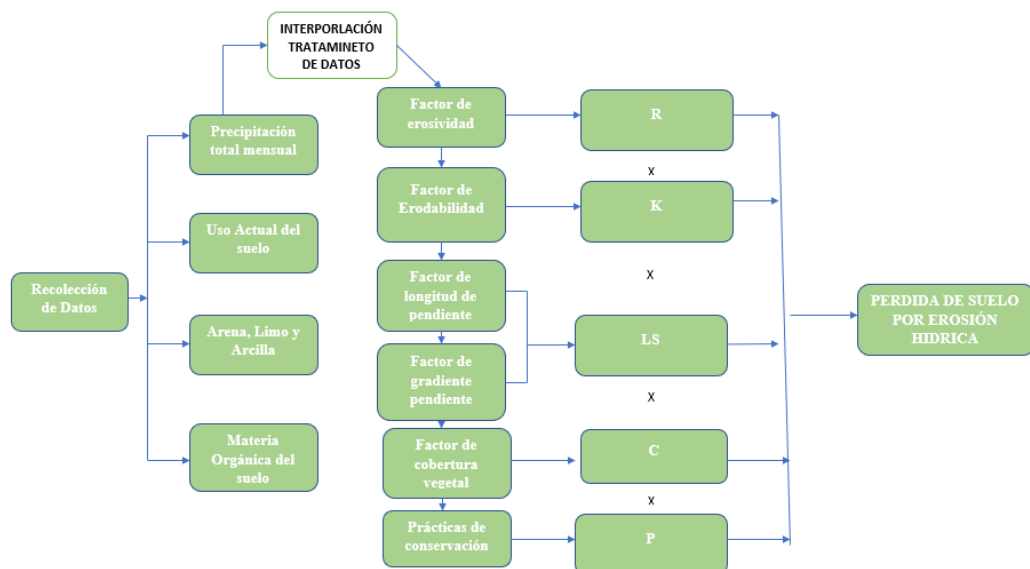


Figura 10: Esquema metodológico para la determinación de pérdida de suelo por erosión hídrica.

a. Estimación de erosión potencial

El potencial de erosión se estimó manipulando la herramienta de cálculo ráster al multiplicar todos los coeficientes R, K, L, S excepto los coeficientes C y P, por una

sola capa en formato ráster. Luego se adquiere cuantitativamente un nuevo ráster para representar el potencial de erosión cuando la cuenca está en falta de vegetación.

b. Estimación de erosión actual

Teniendo en cuenta todos los factores se obtuvo el estado actual de erosión. Multiplique los coeficientes R, K, LS, C y P en formato ráster y use la calculadora ráster para crear un nuevo ráster que represente la situación actual de erosión en la cuenca. En ambos casos, las categorías o intensidad de las amenazas de erosión del suelo provocadas por la erosión hídrica se agrupan según las propuestas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO, 1998).

Tabla 15. Clasificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Intensidad de Amenaza	Pérdida de suelo (tn/ha/año)
Baja	Menor a 5
Moderada	5 a 25
Media	25 a 50
Alta	50 a 100
Muy Alta	100 a 200
Critica	Más de 200

Fuente: FAO, 1998

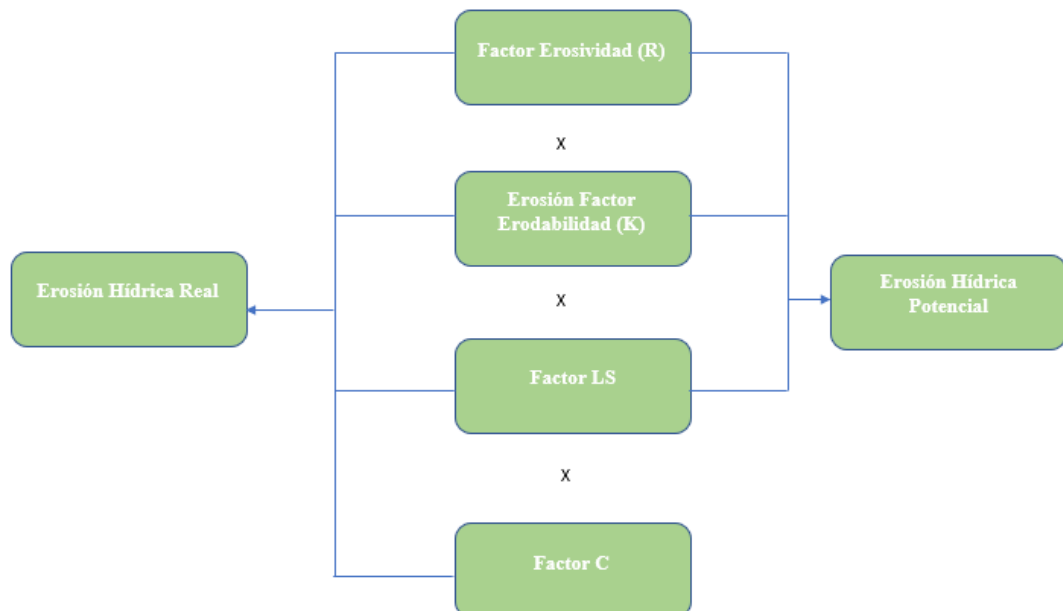


Figura 11: Esquema metodológico para la obtención de la erosión hídrica real y potencial.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la pérdida del suelo por erosión hídrica con metodología RUSLE

De las actividades que se realizaron para determinar la erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche, en el departamento de San Martín los resultados obtenidos fueron:

4.1.1. Estimación de las precipitaciones o factor de erosividad R

Con respecto a este factor de erosividad, a través de la toma de datos, con los registros de la precipitación acumulada mensual y anual para las estaciones Pachiza (2018 – 2022), Huayabamba (2018 – 2022), Bellavista (2018 – 2022) y San Pablo (2018 – 2022) se identificó los valores de erosividad (R) de la cuenca en estudio dedicando el IMF (Arnouldus, 1978, citado por Ramírez et al, 2007). Al generar estaciones con ecuación polinomial se determinó una mejor correlación entre precipitación y altura ($R^2 = 0.9934$) siendo el coeficiente Pearson ($r = 0.9966$), es partir de ello que se creó un mapa de isoyetas para toda la cuenca en estudio.

En la tabla 16 y figura 11 se observa que la estación meteorológica de Pachiza obtiene un valor (R) de 207.71, la estación de Huayabamba y San pablo presentan valores de 145.43 y 125.53 respectivamente, siendo el valor más bajo el de la estación de Bellavista con 107.71, estas tres últimas estaciones meteorológicas tienen mayor grado de influencia en la cuenca.

Tabla 16. Determinación de la erosividad o factor R

Nº	Estación meteorológica	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	factor R
1	Huayabamba	308455.527	9196748.77	285	145.43
2	Bellavista	327876.987	9219865.09	247	107.17
3	San Pablo	325810.44	9247019.87	270	125.53
4	Pachiza	304494.748	9193452.58	286	207.71

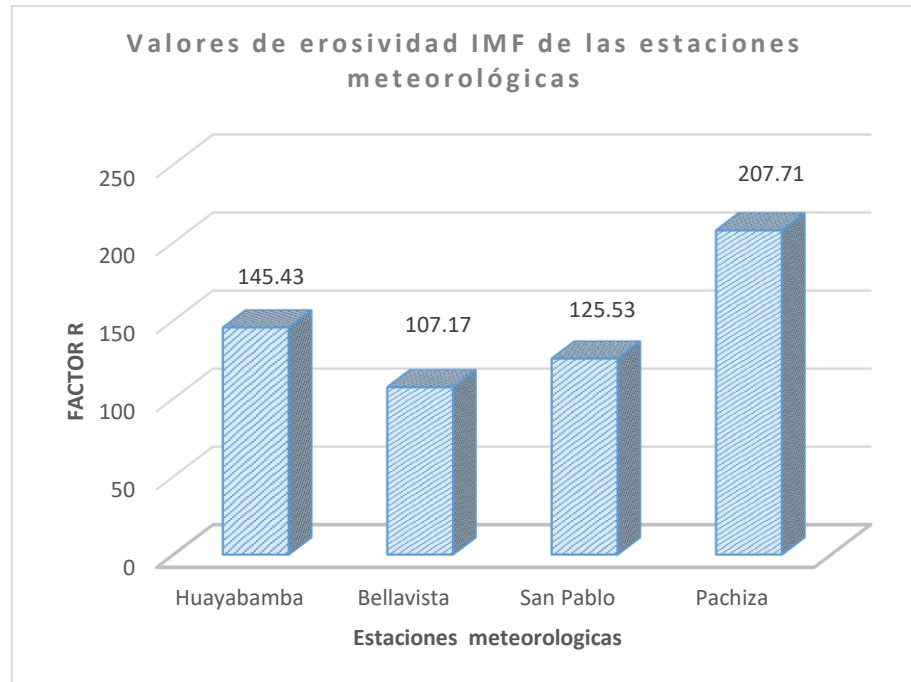


Figura 12. Valores de erosividad IMF de las estaciones meteorológicas

Observamos (Figura 13) que el índice de erosividad o factor R, tiene entre 847.29 a 2,512.62 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la cuenca del río Sacanche, siendo los valores más altos en la zona de mayor altura y mayor precipitación, es así como las lluvias al producirse en las partes altas tienen mayor potencial erosivo, la clasificación de la erosividad de la lluvias según valor R consta de tres clases 1- 3 respectivamente, calificación de Natural a Baja

Al ser uno de los parámetros integrantes de la pérdida del suelo, no solo por la repercusión que puede tener la cantidad de agua precipitada, sino además por la mayor medida y forma que se da la aportación es así que para Wischmeier y Smith (1958 – 1978) en EE.UU, consideran 12,7 mm como un valor mínimo para que la lluvia sea considerada erosiva, de esa manera se podría determinar ocurrencia de erosión en un lugar fijo, sin embargo autores como (Dolgov, 1959) menciona al umbral de 5 mm, (Lazarova, 1980) 9,5 mm que realizaron investigaciones en Bulgaria a través de experiencias en suelo de pendiente considerable, discurren como valor crítico a 12, 5 mm, considerando un evento erosivo.

La investigación que se realizó en la cuenca de Huatatas – Ayacucho, manifestó un factor de erosividad de 373 a 563 $Mj*mm/ha*h*año$, debido a la poca precipitación e intensidad en la cabecera de la cuenca, sin embargo el grado de erosividad para la cuenca del río Sacanche es de 847.29 a 2,512.62 $Mj*mm/ha*h*año$ al ser un clima tropical dado el grado de intensidad y concentración, su energía cinética es mayor. López (2007) mencionó que la correlación entre lluvia y erosividad es baja debido a que la erosión durante las tormentas varía mucho dependiendo de las precipitaciones registradas.

Del águila (2021) realizó una investigación en la subcuenca del río cumbaza evaluando los grados de erosión por precipitaciones, el factor de erosividad fue de 200.866 a 917.883 $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$, para toda la cuenca, contando con una intensidad de natural, comparando con la cuenca del río Sacanche la erosividad sigue siendo mayor debido a su intensidad y alta concentración.

(Ellison, 1982 y Hudson, 1971) menciona que la erosividad maneja ciertos argumentos sobre las discrepancias de la erosión en clima templados y tropicales, en un clima templado poca proporción de la lluvia puede causar erosión, del 95% solo el 5%; esto se debe a la baja cantidad de lluvia, e intensidad y energía cinética, sin embargo en climas tropicales una alta proporción de lluvia en el trópico causa erosión, del 60% de las lluvias solo el 40%; dada a su enorme concentración y alta intensidad con la energía cinética.

El factor R al ser un índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvia típica (Wischmeier y Smith, 1978) manifiestan que la pérdida del suelo es proporcional al producto de la energía cinética total de lluvia en alta intensidad que ocurre en un periodo de 30 minutos, la suma de estos productos se denomina índice de erosión (EI) dicho periodo proporciona un índice numérico de erosión pluvial que estima la erosión potencial durante este periodo caracterizando principalmente por su alta variabilidad espacial, tanto por la no continuidad espacio temporal de los regímenes pluviométricos.

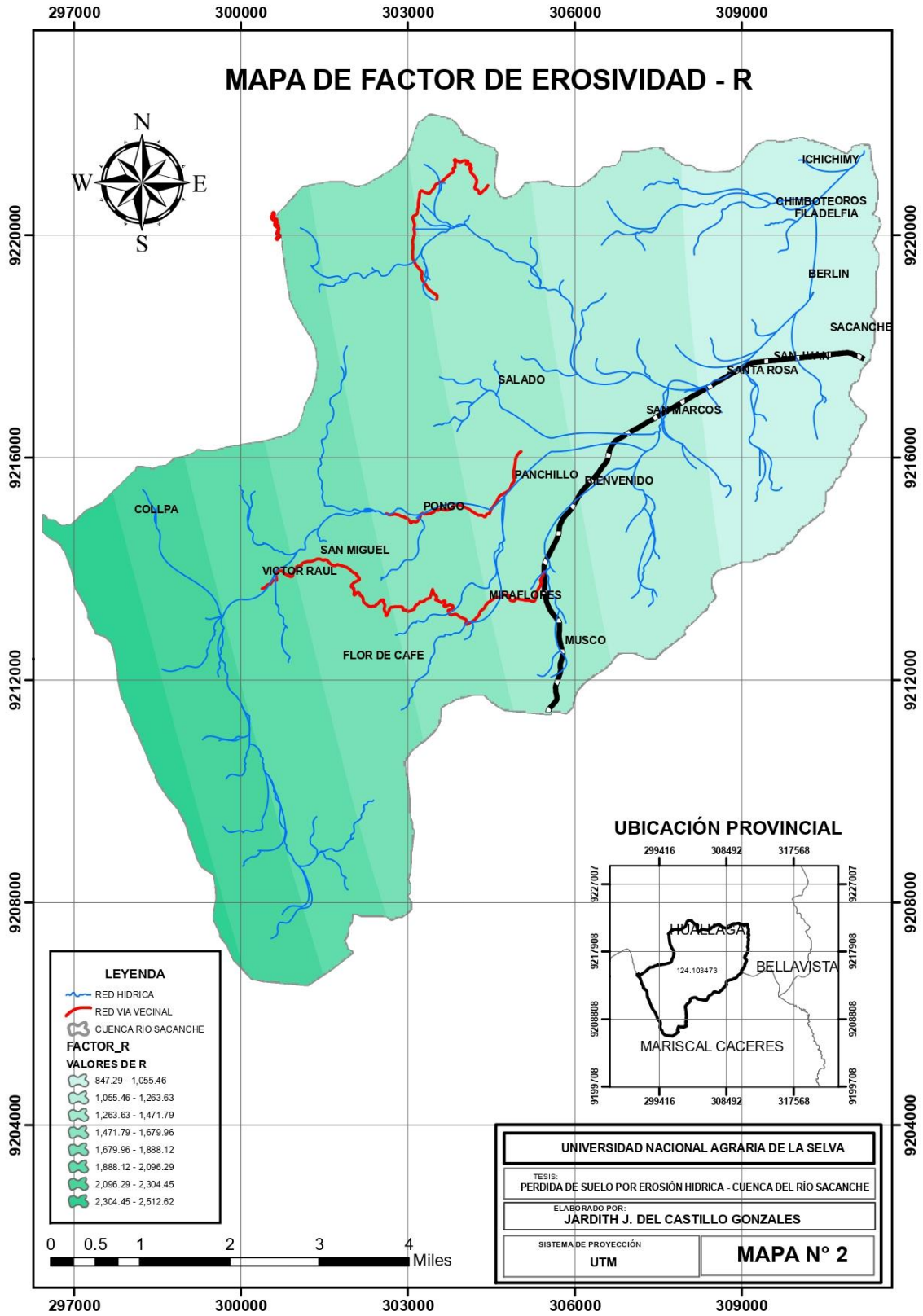


Figura 13. Mapa de factor de erosividad de la cuenca del río Sacanche

4.1.2. Índice de erodabilidad del suelo o factor K

En la figura 14, observamos los valores de erodabilidad K, de la cuenca del río Sacanche siendo valores que están entre 0.034 – 0.066 $\text{tm}^*\text{ha}^*\text{h}/\text{ha}^*\text{Mj}^*\text{mm}$.

Los suelos que constan de valores de erodabilidad K baja, pertenecen a suelos de textura a franco arcilloso (0.034), sin embargo los valores medios de suelo de la cuenca oscilan entre (0.042 – 0.056) con textura franca, por otro lado, valores más altos que contienen textura franca limosa, oscilan entre (0.056 a 0.066). La codificación de los grados de erodabilidad por USDA 1962, manifiestan ser fuertemente erodable.

Según (Velásquez, 2008) suelos con texturas medias como las de franco obtienen valores de K moderado siendo susceptibles al desprendimiento, consecuencia de ello genera escorrentía moderada.

Del águila (2021) en su investigación de la subcuenca del río Cumbaza, su índice de erodabilidad (K) fue de 0.068 a 0.21 $\text{tm}^*\text{ha}^*\text{h}/\text{ha}^*\text{Mj}^*\text{mm}$, siendo muy poco erodable a moderadamente erodable, al realizar comparación con el factor de erodabilidad k, río Sacanche conta ser fuertemente erodable debido a la concentración mayor de textura franca limosa que existe en la zona.

La cuenca del río Mayo, investigación que realizó Cárdenas y Perez (2021), el índice de erodabilidad en K, en 10 suelos analizados, fue un valor de 0.463 $\text{tm}^*\text{h}/\text{ha}^*\text{Mj}^*\text{mm}$, calificado como extremadamente erodable, sin embargo, la cuenca del río Sacanche mostró un K de carácter fuertemente erodable igualando al río Mayo al tener una composición similar a las propiedades del suelo. Ruíz Pérez (2011) menciona que el incremento del valor K se encuentra en función al incremento de la materia orgánica, lo mismo ocurre cuando la textura cambia de grano fino a grano medio. Harb Rabia (2012) argumentó que los suelos ricos en arcilla y de textura más fina resisten más al desprendimiento de partículas debido a su cohesión.

Según (Flores, 2015) al realizar la investigación en la subcuenca de Shambillo, dieron como resultado a los suelos de textura arcillosa arenosa, presentando valores de 0.027 t ha. H/MJ MM ha , estos suelos al tener gran contenido de arcilla, valores bajo en K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas del suelo, contando además con suelos arenosos que son fácilmente erodable.

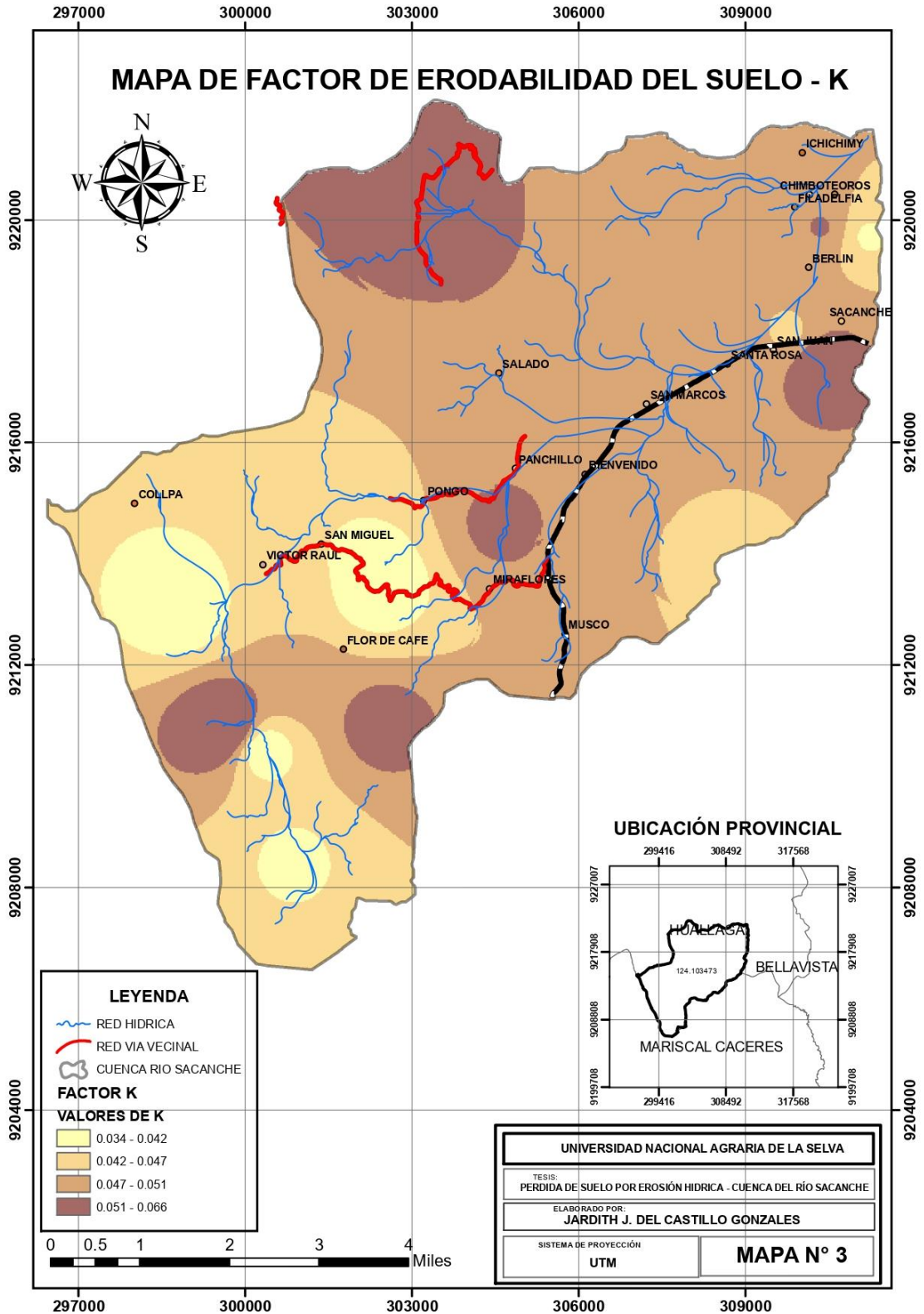


Figura 14. Mapa de factor de erodabilidad o factor K

En la figura 15, se manifiesta la relación que existe entre el factor K de Erodabilidad de la cuenca del río Sacanche y los datos obtenidos a través del análisis de suelo. Los números de muestras del suelo ostentan cantidades superiores al 50% de arena, sin embargo

las muestras 4, 5, 7, 11 y 16 cuentan con porcentajes mayor del 30% de arcilla, siendo los suelos más representativos con respecto al valor de K siendo 0.034 y 0.066 $\text{tn}^*\text{ha}^*\text{h}/\text{MJ}^*\text{mm}^*\text{ha}$ respectivamente.

Los valores más bajo en % de limo son las muestras 8, 12, 15 que representan valores menos del 20%, otro punto a destacar es el porcentaje de MO siendo representado en el suelo franco arcilloso de la muestra número 1, no logrando superar ni el 0.5%, caso contrario pasa con el número de muestra 8, que sobrepasa el 3% de MO.

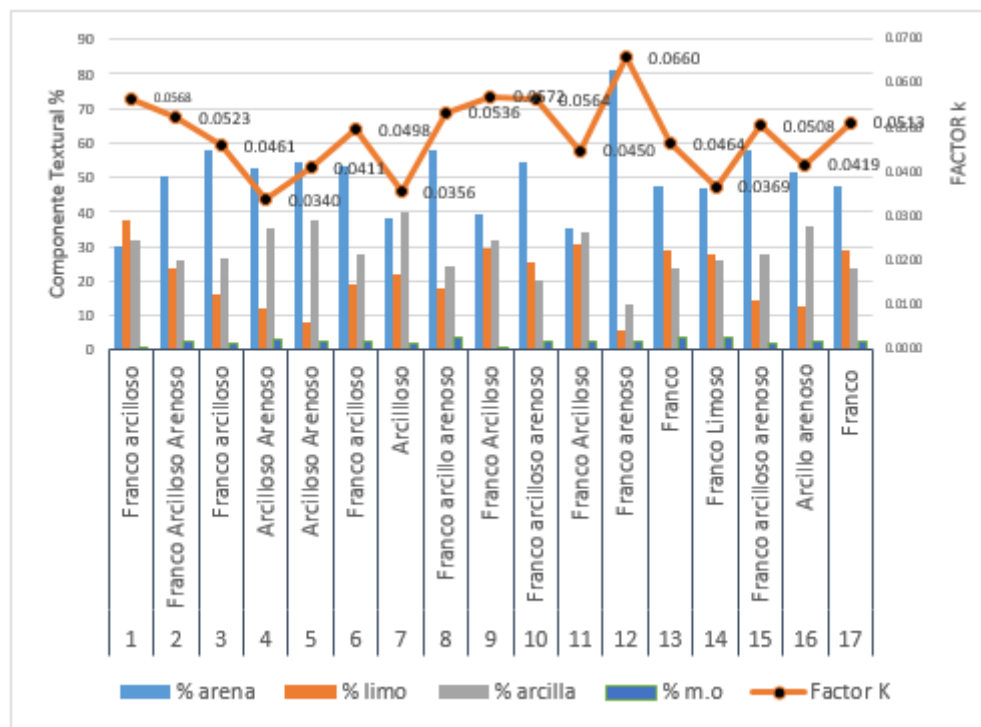


Figura 15. Relación entre componente de textura, % de materia orgánica y factor de erodabilidad K.

4.1.3. Catalogación de la cobertura vegetal del suelo o factor C

En la tabla 17, se puntualiza en porcentaje (%) y hectáreas (ha) por uso del suelo en la cuenca del río Sacanche, observando que el bosque forestal y pasto se encuentran con valores representativos del 58.90% y 13.83% respectivamente ayudando que el suelo no se erosione, sin embargo, en las zonas que cuenta con suelo desnudo sin cobertura el porcentaje es del 3.22%, con valor de C en 1.

Considerando que el factor C se adhiere al tipo de uso y cobertura vegetal y es que en zonas de bosque forestales presentan menor valor, consecuencia del amortiguamiento de las gotas de lluvia, es así como los valores más altos se muestran en zonas que no cuentan con cobertura vegetal, con un valor Máximo de C en 1, Coincidiendo con flores (2012) donde se estimó los valores de 0.0047 para bosques densos y 1 para superficies sin

vegetación, correlativo a ello (Perez 2019) menciona que estimo valores en bosque de 0.001, suelo sin cobertura 1 e insertando la actividad agrícola con un valor de C de 0.25.

El mapa de cobertura y uso de suelo para la investigación (Del águila, 2021) en la subcuenca cumbaza reveló que los valores obtenidos en 0 corresponden a áreas donde no hay pérdida de suelos por precipitaciones pluviales, esto debido a que la cobertura se conforma por lagunas, cochas, cauces de ríos y quebradas, esto difiere razonablemente con la cuenca del río Sacanche al no contar con estos componentes naturales, la actividad antrópica fue mayor, mostrando suelo desnudo en proporciones considerables.

En la figura 16, se observa que existe bastante bosque forestal en la zona céntrica de la cuenca, sin embargo, también existe intervención del hombre con el sembrío de pastos para ganadería, las zonas de suelo desnudo se encuentran cerca de la carretera F.B.T cercana a la zona urbanas de Sacanche, y unidades agropecuarias Chimboteros, filadelfia y Ichichimy

Tabla 17. Uso Actual de Tierra

Nº	Uso del suelo	Factor C	Área ha	Porcentaje (%)
1	Bosque	0.007	134.65	1.08
2	Suelo desnudo	1	399.95	3.22
3	Pasto	0.009	1716.546	13.83
4	Cuerpo de agua	0.0001	397.47	3.20
5	Edificaciones	0.015	240.968	1.94
6	Cultivo de café	0.3	1271.23	10.24
7	Maíz	0.519	411.457	3.32
8	Cultivo de cacao	0.05	234.76	1.89
9	Bosque forestal	0.003	7310.28	58.90
10	Pasto para ganadería	0.04	140.82	1.13
11	Cultivo de plátano	0.062	152.21	1.23
Superficie total			12410.34	100

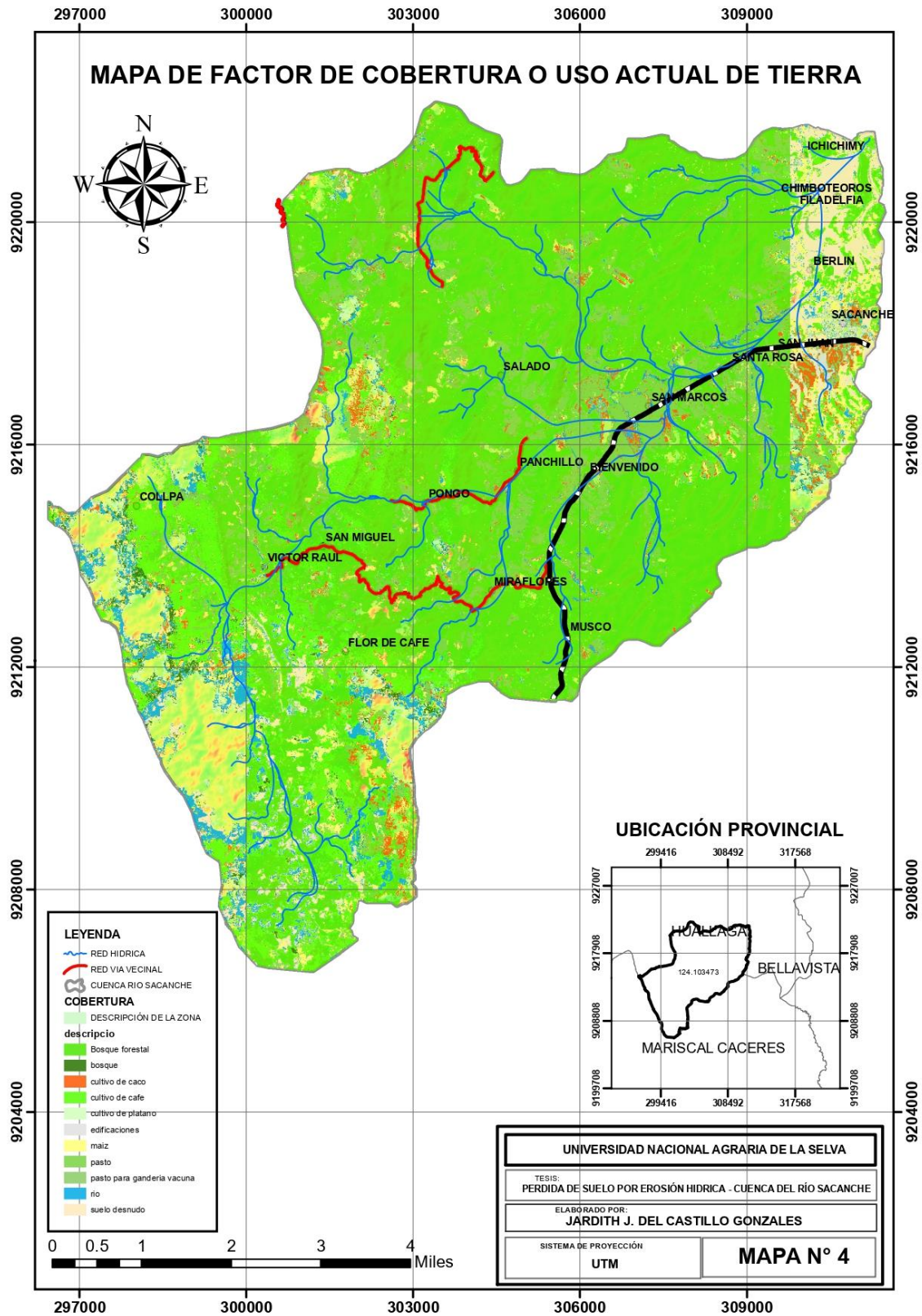


Figura 16. Mapa de uso actual de tierra o factor C

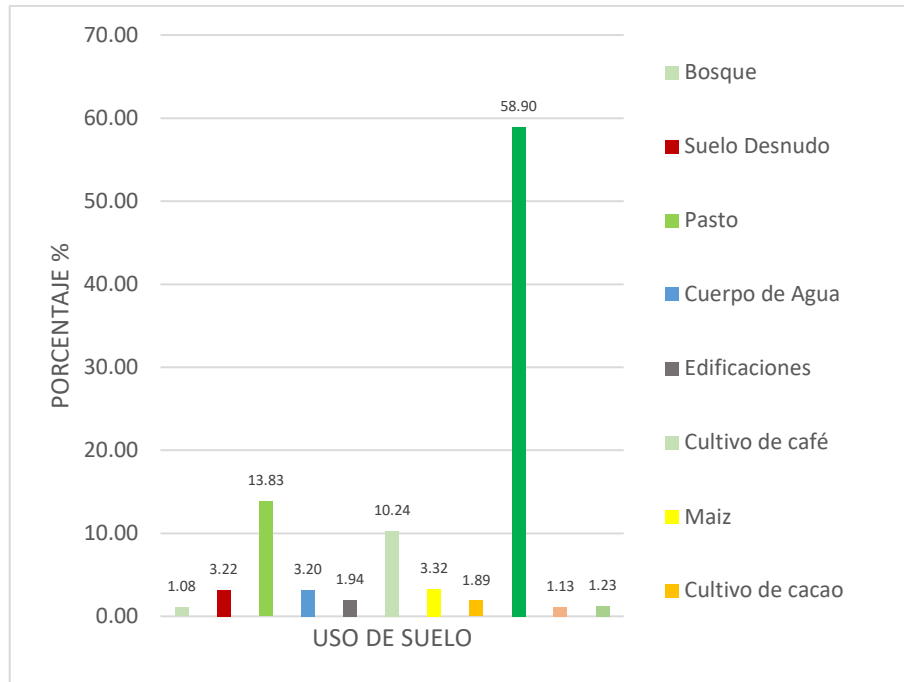


Figura 17. Área total en porcentaje (%) en función del uso y cobertura del suelo.

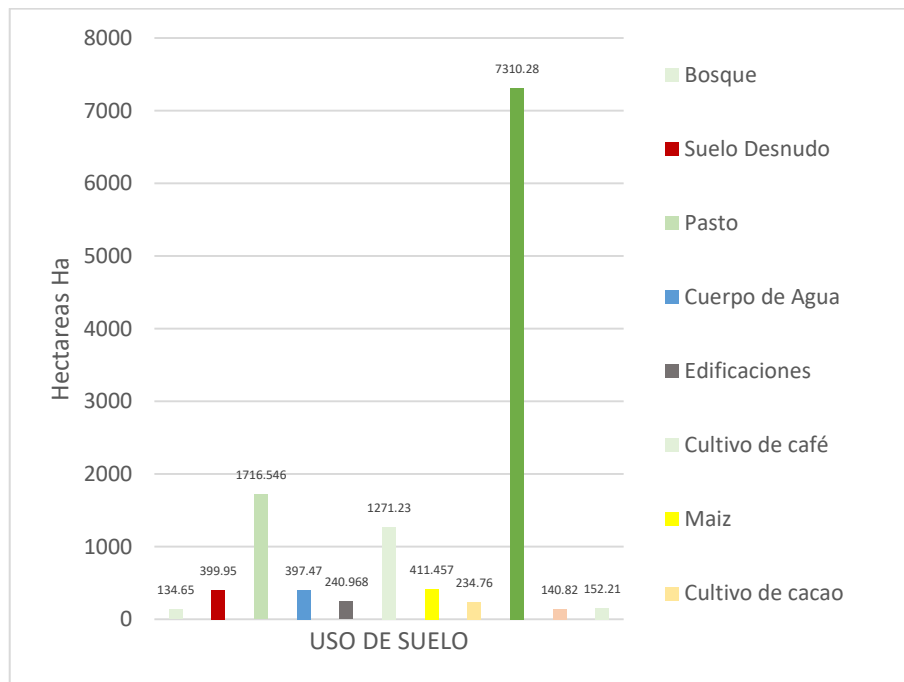


Figura 18. Área total en hectáreas (ha) en función al uso y cobertura del suelo.

Al ser una actividad para la alimentación y sustento, los cultivos de pan llevar (maíz, cacao, entre otros) originado en la cuenca del río Sacanche tiene un impacto significativo, estas actividades al no ser controladas en su mayoría, tendría efectos negativos en la pérdida del suelo. Esto puede ocurrir cuando se remueve la vegetación natural, lo que hace que el suelo este expuesta a la erosión.

4.1.4. Estimación de longitud y gradiente del terreno o factor LS

4.1.4.1. Método de Renard

Observamos en la figura 19, los valores calculados de LS a través de la ecuación de Renard utilizada por Rusle, oscilan entre de 0.029 – 398.64 (adimensional), estos valores se presentan en regiones de mayor longitud y pendiente, es así como a mayor longitud, mayor es la trayectoria de las gotas de lluvia que llegan a un punto de concentración del flujo junto al suelo desprendido, lo mismo se enfoca con pendiente pronunciadas y es que la pérdida del suelo aumenta más en función a la longitud de la pendiente.

La utilización de esta metodología Renard, propone un mejor entendimiento del paisaje del área de evaluación, la caracterización de las rutas preferidas y los movimientos de flujos que se dan junto al desprendimiento del suelo, además siendo transcendental en la movilidad espacial de las características del suelo.

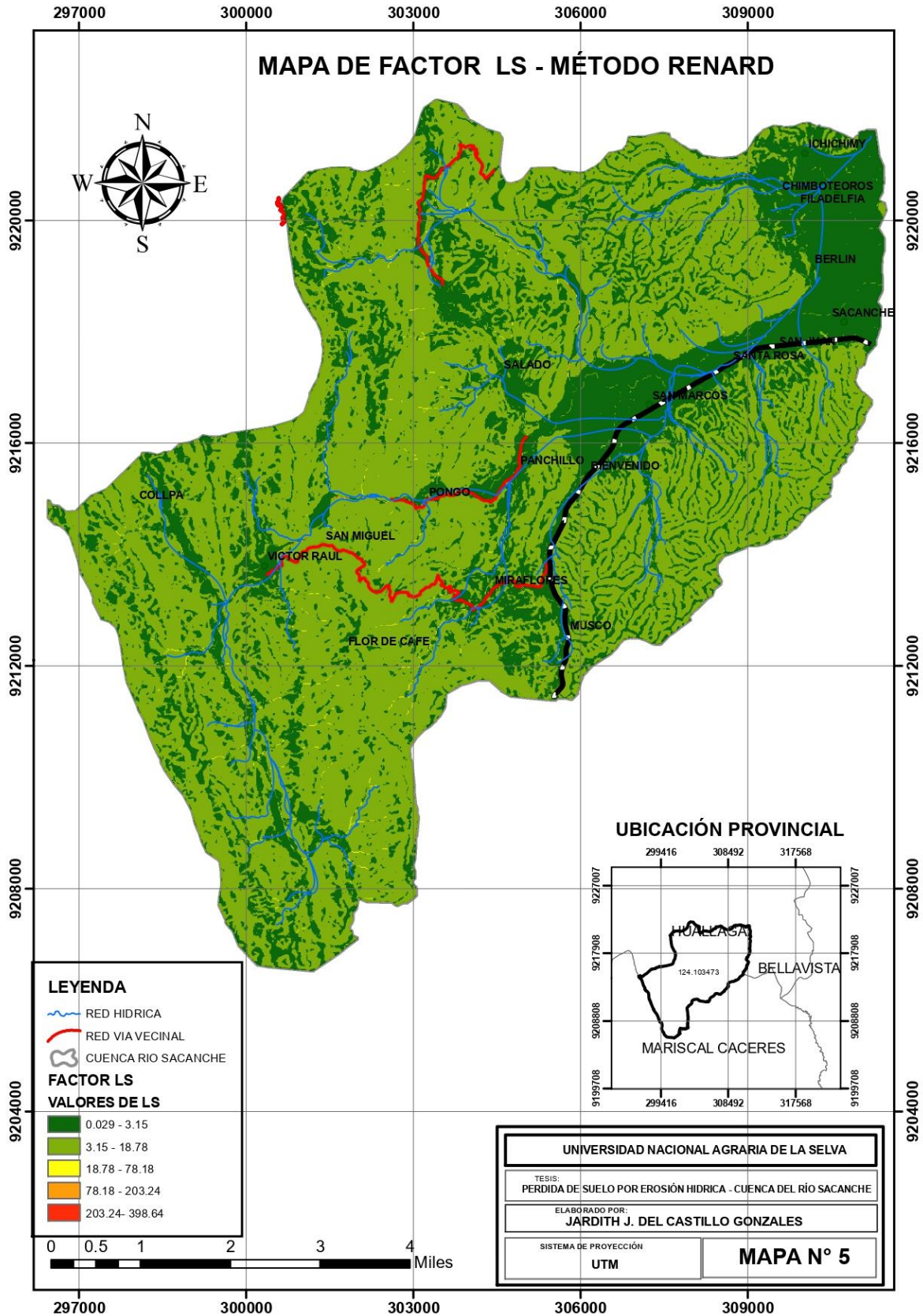


Figura 19. Mapa de longitud y gradiente de la pendiente – método Renard

Para Del águila (2021), los valores comprometidos para el factor LS en la subcuenca del Cumbaza fueron entre 0.06 a 411.49, un valor promedio de 7.572, un valor

de 0 representa una extensión del suelo donde la pendiente a lo largo de su longitud no contribuye a la erosión del suelo, y ocurre lo contrario cuando el cero está sesgado positivamente lejos de cero, lo que contribuye a la erosión del suelo; contemplando la cuenca del río Sacanche al contar con un valor de 0.029 398.64 de LS, considerando ser menor que la subcuenca cumbaza debido a una pendiente y longitud menor.

Según el método de (Renard, 1997), Esto indica que el mayor rango de LS se encuentra en las regiones de máxima longitud y pendiente, es decir, cuando la longitud es mayor; cuanto mayor es la distancia de las gotas de lluvia, los valores del factor LS ocurren en pendientes de hasta 0,029 y valores altos hasta 398.64, para Ramos (2001) estos valores de longitud e inclinación de la pendiente LS oscila entre 1,5 y 28,5, siendo los valores más altos en zonas con pendientes superiores al 30%.

4.1.5. Pérdida del suelo por erosión hídrica potencial.

La estimación de la erosión potencial esperadas son producto de la multiplicación de los factores: K, R, L, S, a partir de ello se puede determinar la erosión potencial máxima teórica para cada zona. Este valor es representativo en la cantidad de pérdida del suelo (tm/ha/año) que ocurriría en el lugar de estudio, es así como al hacer la investigación denotamos que a lo largo de la pendiente y si el terreno fuera cultivado, sin cobertura y expuesto a la precipitación, este valor simbolizaría la susceptibilidad de cada zona o unidad a la erosión.

En la Tabla 18 observamos que los valores de conservación o factor C por posible erosión hídrica no se tienen en cuenta en relación al uso actual del suelo, por lo que estos valores se ven influenciados por la longitud y gradiente de la pendiente, entonces se aprecia que el nivel de erosión en la cuenca del río Sacanche es de baja a muy alta ocupando el 85.1% al 0.6%, respectivamente, la otra categoría cuentan con menor porcentaje.

Tabla 18. Determinación de la erosión potencial

Rango	Descripción	Área ha	Porcentaje (%)
< 0.5	Baja	10567.34	85.1
5 - 25	Moderada	794.33	6.4
25 - 50	Media	714.34	5.8
50 - 100	Alta	246.21	2.0
100 - 200	Muy alta	78.12	0.6
> 200	Crítica	10.00	0.1
Superficie total		12410.34	100

En la figura 20 observamos cómo está distribuido la erosión potencial, apreciando que existe un grado de erosión de 1.08 a 167.628 tm/ha*año en una intensidad de amenaza baja para los centros poblados que ocupan la actividad agrícola como plátano, cacao, cercanos a la vía Fernando Belaunde de Terry y muy alta, pertenecientes a la parte alta de la cuenca al contar con mayor pendiente su grado de erosión es mayor.

Las instituciones internacionales de la (FAO y UNESCO, 1980) adaptaron a la Erosión hídrica potencial de acuerdo con ciertas tablas, de esa forma permitieron determinar ciertas zonas que se encuentran susceptibles a ser erosionadas. Al constatar dicha información con (Ruiz, 2011) en la investigación que realizo en la cuenca Rumiyacu en el departamento de San Martín, menciono que la erosión potencial de los suelos alcanza cifras significativas altas debido a que no se cuenta con protección de cobertura vegetal, en comparación de la cuenca del río Sacanche que igualaría razonablemente al no contar con cobertura vegetal.

Por su parte (Alonso t al, 2007) señala que existe una relación de ($R^2 = 79.96$) entre la erosión potencial y el factor LS, corroborado dicha pesquisa con (Villanueva, 2008) mencionando que la pérdida del suelo aumentó más rápido debido al aumento de la longitud de la pendiente.

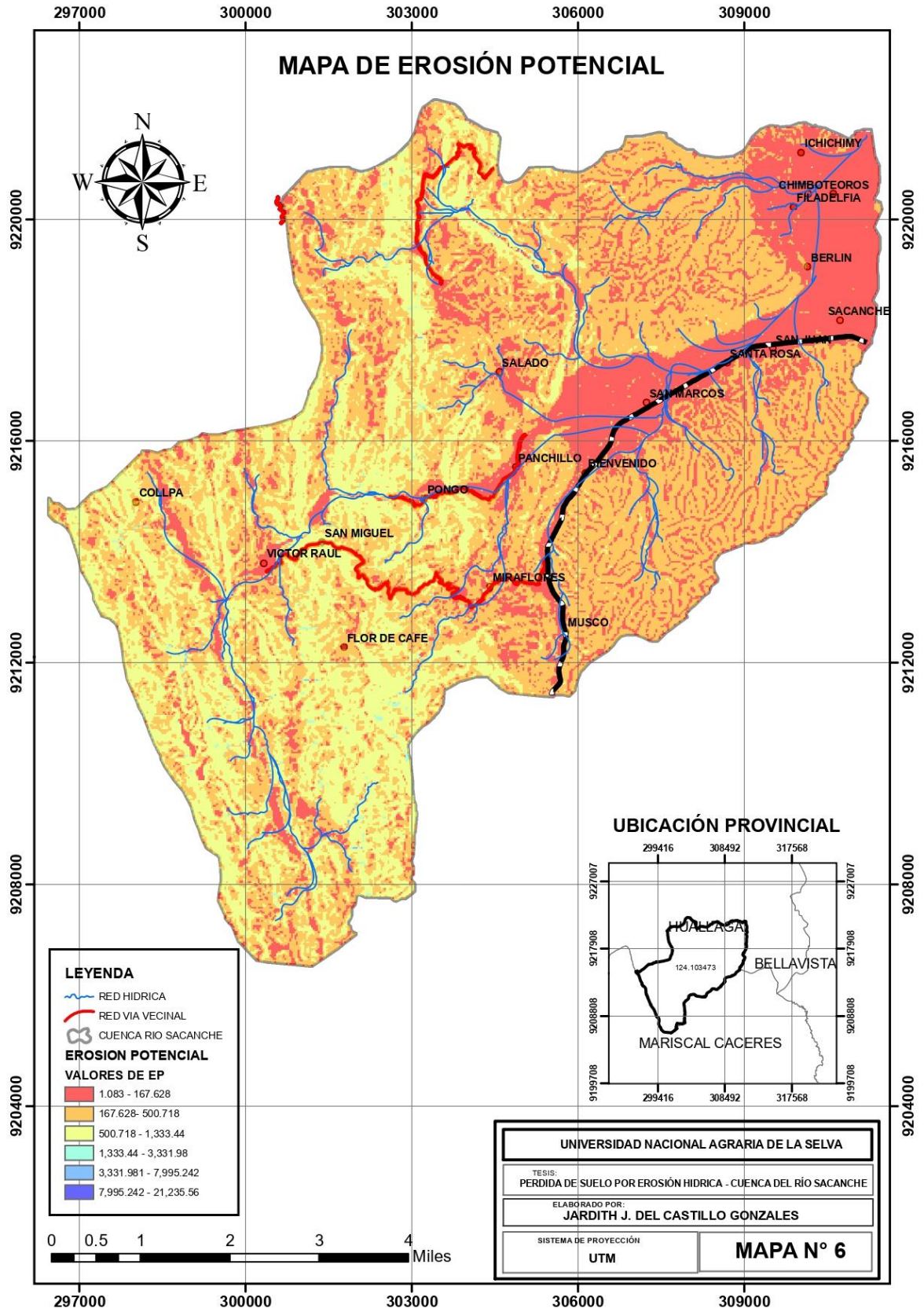


Figura 20. Mapa de pérdida del suelo por erosión hídrica potencial

4.1.6. Erosión hídrica actual

Los valores estimados de pérdida del suelo por erosión hídrica actual en la cuenca del río Sacanche varían en un rango de 0.00010 a 50.847 tm/ha/año la cual fueron agrupados según la variabilidad de erosión, asignándolos un nivel de intensidad de amenaza de baja a media, siendo identificables aquella zona que están susceptibles a ser erosionadas.

En la tabla 19 y figura 21 se aprecia la pérdida de erosión hídrica actual, en la cuenca del río Sacanche presentando valores representativos en un porcentaje de 50.32% a 22.30 % respectivamente, los otros grados de erosión hídrica están en variabilidades menores.

Tabla 19. Determinación de la erosión actual

Rango	Descripción	Área ha	Porcentaje (%)
< 0.5	Baja	6245.12	50.32
0.5 - 25	Moderada	3036.12	24.46
25 - 50	Media	2768.12	22.30
50 - 100	Alta	149.32	1.20
100 - 200	Muy alta	135.31	1.09
> 200	Crítica	76.35	0.62
Superficie total		12410.34	100.00

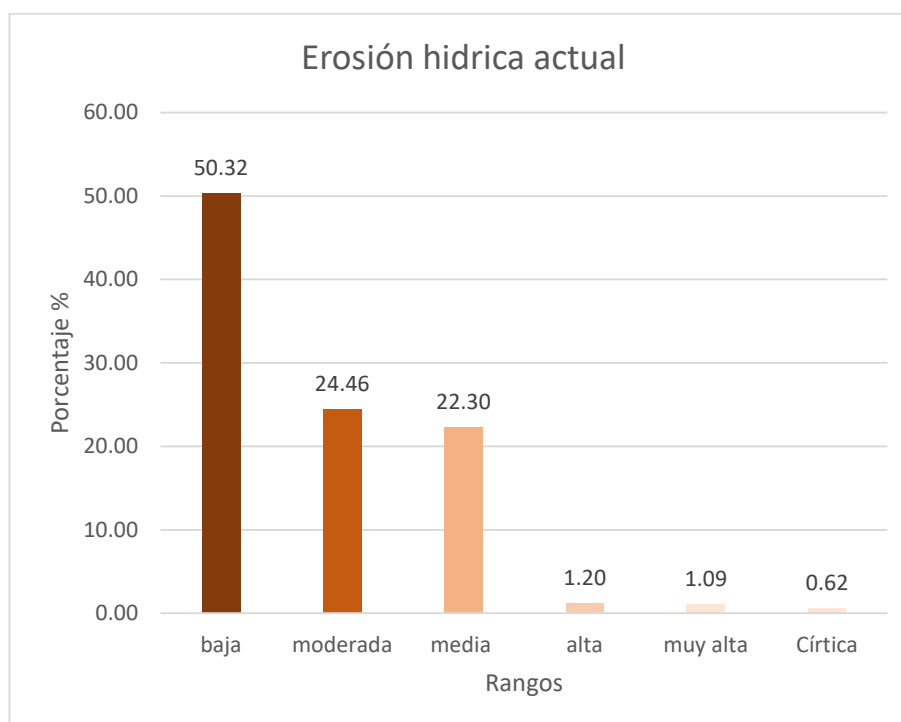


Figura 21. Erosión hídrica actual expresada en porcentaje %.

En la figura 22 se observa cómo están distribuidas la erosión actual; presentando un nivel de baja a media y al comparar con el uso actual de tierras, esto se encuentran en lugares donde coexiste gran cantidad de cobertura, por otro lado, en los lugares donde el hombre ha intervenido para sus actividades diarias (sin cobertura y cultivos de panllevar), el grado de Erosión hídrica es mayor.

Ramos (2001) menciona que el límite de erosión aceptado mundialmente como admisible se encuentra oscilando entre 10 a 12 tm/ha/año, sin embargo es en zonas húmedas que las cifras suelen elevarse a 25 tm/ha/año.

La investigación realizada por Solano (2016) en la subcuenca de estudio demostró que, a pesar de existir pendientes pronunciadas que no superan los límites permisibles, la superficie se encuentra cubierta por plantaciones forestales, pastizales, etc., que reducen significativamente la erosión hídrica actual, confirmado por Dumas (2010), afirma que los bosques pueden limitar la erosión hídrica incluso en áreas con un potencial de erosión muy fuerte.

Según Morgan (1997) Rusle contiene una facilidad muy amena en cuanto a la toma de datos amplios sobre el cual se desarrolla, siendo evidente en esta investigación.

(Wischmeier y Smith, 1978) Rusle al no contemplar las etapas físicas de separación, transporte y sedimentación de forma mecánica, basándose de que los procesos del cultivo, manejo y pendiente del terreno son uniformes, esto permite observar zonas propensas a la erosión en función a las características, pero al no ser una medida precisa, se puede lograr identificar áreas que requieren intervención humana con el fin de reducir la erosión a través de cultivos apropiados y medidas.

Del águila (2021) al aplicar Rusle en la subcuenca del río Cumbaza estimo un valor de 141.07 tm/ha/año, revelando una erosión de carácter alto destacando el mayor grado en la parte alta de la cuenca con un 19%, que correspondería a 10.575 ha.

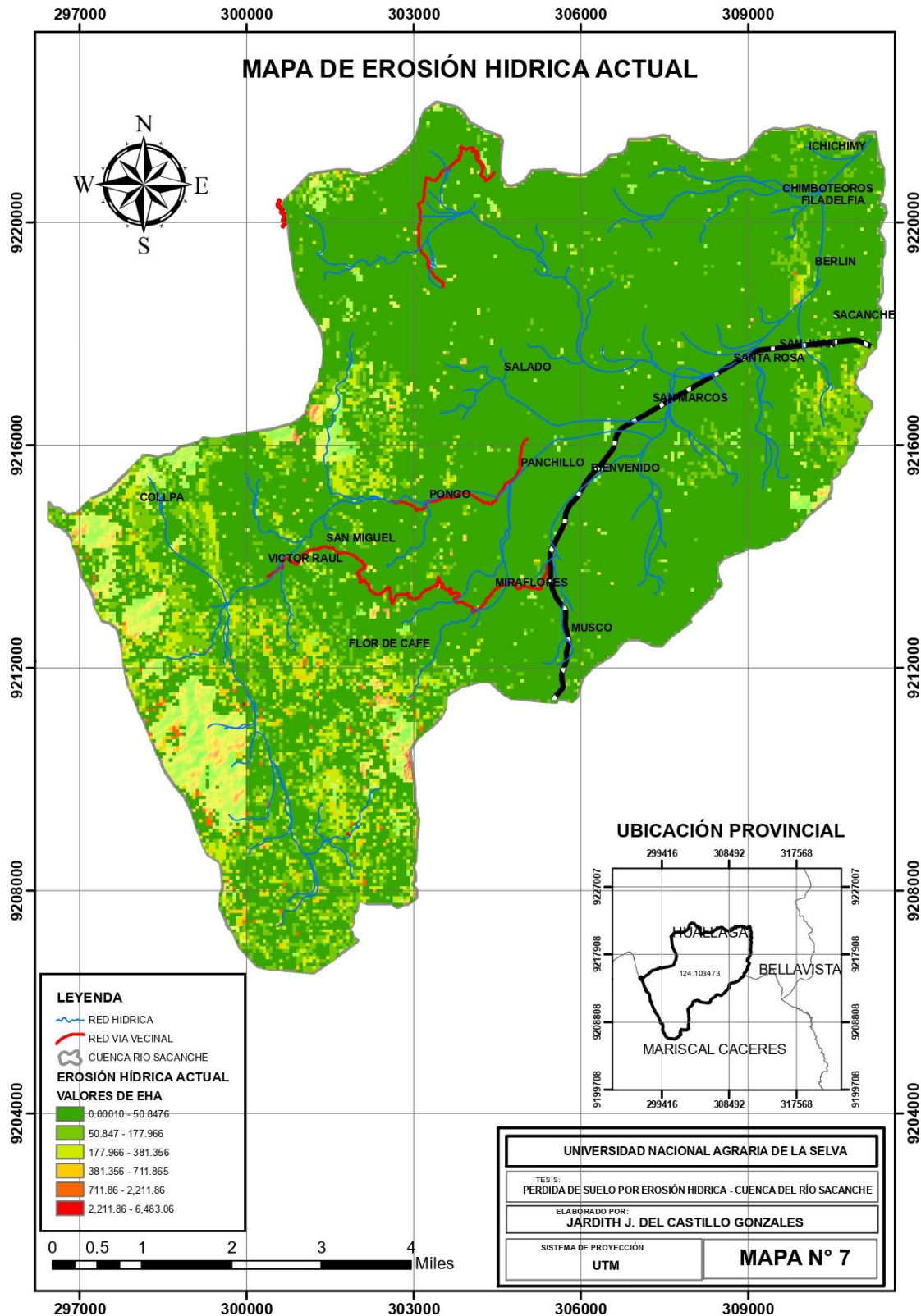


Figura 22. Mapa de pérdida por erosión hídrica actual

V. CONCLUSIONES

1. Se estimó el parámetro del factor de erosividad mediante el IMF (Índice modificado de Fournier) siendo los valores estimados de 847.29 a 2,512.62 $\text{Mj} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{año}$ para toda la cuenca del río Sacanche.
2. Se estableció el factor de erodabilidad del suelo - K, siendo valores estimados de 0.034 – 0.066 $\text{tm} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} / \text{ha} \cdot \text{Mj} \cdot \text{mm}$, estos representan alta erodabilidad correspondiente a los suelos de textura franco-limosa, consecuencia a ser más frecuentes a la erosión.
3. A través de la determinación del factor de longitud y gradiente de la pendiente LS, con el del método Renard *et al* (1997) los valores estimados fueron entre 0.029 a 398.64 en la cuenca del río Sacanche.
4. La determinación del factor C o cobertura vegetal en la cuenca del río obtuvo 11 clase de usos según su clasificación: Bosque con un valor en C de 0.007, suelo desnudo 1, pasto 0.009, cuerpo de agua 0.0001, edificaciones 0.015, cultivo de café 0.3, Maíz 0.519, cultivo de cacao 0.05, Bosque forestal 0.003, pasto para ganadería 0.04, cultivo de plátano 0.062.
5. Al aplicar Rusle se evaluó la pérdida de erosión hídrica actual en toda la cuenca del río Sacanche, denotando un valor que oscila entre 0.00010 a 50.847 $\text{tm} / \text{ha} / \text{año}$, contando una intensidad de amenaza de baja a media para la cuenca evaluada con un porcentaje del 50.32 a 22.30 % respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Elaborar proyectos de reforestación en zonas que no cuenta con cobertura vegetal y propensas a la tala de árboles con plantas maderables de corto, largo y mediano plazo (bolaina, cedro, caobas, quinilla, tornillo) plantas medicinales(oje) y especies pioneras de rápido crecimiento, favoreciendo la rápida estabilización del suelo.
2. Hacer cumplir la ley que establecen los gobiernos locales, regionales y nacionales en el contexto del ordenamiento territorial como instrumento a la zonificación ecológica y económica dentro de la cuenca del río Sacanche, al ser zona céntrica de la región San Martín y Huallaga central.
3. Implementar prácticas de conservación de suelos con manejo tradicional como principales estrategias de intervención sobre la infraestructura natural para mitigar la erosión hídrica en la cuenca del río Sacanche.

VII. REFERENCIAS

- Alonso, G., Ruiz, M., Schiettecatte, W., Diaz, J., Almoza, (2007).
- Atauje, D. (2021). Estimación de la erosión hídrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho – 2017. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3534>
- Amézquita, Edgar. (1990). Las aguas y la Erodabilidad de los suelos. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos plantas aguas para riego. Memorias del Seminario Taller, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Barrios, A. y Quiñonez, E. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo RUSLE con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista forestal venezolana. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-forestal-venezolana/articulo/evaluacion-de-la-erosion-utilizando-el-modelo-r-usle-con-apoyo-de-sig-aplicacion-en-una-microcuenca-de-los-andes-venezolanos>
- Cabrejos, M. (2016). Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuen – Amazonas. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1951>
- Calle, L. (2021). Efecto de los cambios de uso de suelo en el aumento de la erosión hídrica a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos en la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional Tabaconas Namballe. [Tesis pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio UCSS. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1094>
- Cárdenas, R y Pérez, O. (2021). Aplicación del modelo Rusle utilizando el programa ArcGis para evaluar el cambio morfológico en la cuenca del río Mayo, San Martín - 2021. [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97514>.
- Colotti-Bizzari, E. (1999). La Erosividad: cualidad de lluvia poco conocida. Terra Nueva Etapa. 24, 99-116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102406>
- Cuevas, F. (2021). Análisis de los efectos del cambio de cobertura de suelo en los procesos de erosión hídrica en la cuenca del estero Coyanco (1986-2020). Quillón-Chile. [Tesis maestría, Universidad de Concepción Dirección de Postgrado]. Repositorio UDEC. <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/6056>

- Del Aguila, C. (2021). Estimación de los grados de erosión por precipitaciones pluviales en la subcuenca del río Cumbaza departamento San Martín 2021. [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69150>
- Desmet, P. y Govers, G. (1996). Comparison of Routing Algorithms for Digital Elevation Models and Their Applications for Predicting Ephemeral Gullies. *Int. J. Geographical Information Systems*, 10(3), 311-331. DOI: 10.1080/026937996138061
- Dioses, J. y Pérez, C. (2021). Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10055>
- Ellison, W.D. (1952). Raindrop energy and soil erosion. *E. J. Exp. Agric.* 20 (78): 81 – 97.
- Farfán, J. (2002). Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de Pérdida de Suelo, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule. [Tesis pregrado, Universidad de Talca]. Repositorio UTALCA. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/26919>
- Ferran, A. (2007). Modelización de la erosión hídrica en los suelos. *Revista de Didáctica Ambiental*. <http://www.didacticaambiental.com/revista/numero6/Sistemas3.html>
- Flores, A. (2015). Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca del Shambillo, distrito de Padre Abad. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS_686323aa10e85b30eb89bfa20c882b99
- Foster, G., Nearing, M., Lane L., y Finkner, S (1977). A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions of the ASAE*. 32(5), 1587-1593. DOI: 10.13031/2013.31195
- Guanca. (2010). Determinación de la Erosión Hídrica de los suelos del Rio Pilcomayo – Salta. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-erosion_hidrica_pilcomayo.pdf
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL.
- Hudson, N. W (1971). *Soil Conservation*. Cornell University Press, Ithaca. New York.
- Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza - ICONA. (1988). Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura. ICONA.
- Mancilla, G. (2008). Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en el campo forestal. Facultad de ciencias forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile.

- Mendoza, M. (2005). Manual de métodos sencillos para estimación de Erosión Hídrica. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. https://www.researchgate.net/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_para_estimar_erosion_hidrica
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2019). Pérdida de la superficie del bosque en la Región San Martín, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1608>.
- Morgan, R. (1997). Erosión y conservación del suelo. Mundi Prensa.
- Morgan, R. y Kiryby, M. (1984). Erosión de suelos. Limusa S.A
- Natural Resources Conservation Service - NRCS (1993). Soil survey manual. http://www.nhq.nrcs.usda.gov/JDV/ssmnew/gen_cont.html
- Núñez, S. (2001). Manejo de conservación de suelos. Universidad Estatal a distancia.
- Ocampo, R. (1996). Programa de conservación de suelos y forestación. Manual de conservación de suelos. Asociación Arariwa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (1984). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO.
- Pinargote-Chóez, J., Palma-Ponce, R. y Pinargote-Menoscal, R. (2021). Erosión hídrica en la cuenca alta del río guineal, del cantón 24 de Mayo, Ecuador. Polo del Conocimiento, 56(6), 1992-2004.
- Porta, J. y López-Acevedo, M. (2003). Edafología para la agricultura y el Medio Ambiente. Mundi Prensa.
- Quiñonez, J. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10762>
- Ramírez, L. (2010). Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta. [Tesina pregrado, Universidad Nacional de Salta]. Repositorio UNSA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_estima_perdida_suelo_erosionh_cca_juramento_salta.pdf

- Renard, K. G, Foster, G.R et al (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Us departamento of agriculture, Washington, DC, Vol. 703.
- Ruiz, R. (2011). Estimación de la erosión a través del modelo USLE en la microcuenca Rumiyacu, Región San Martín.
- Velásquez, S. (2008). Erosion de suelo utilizando el Rusle. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado – Costa Rica. 54p
- Wischmeier, W. Y Smith D. (1978). Predicting rainfall erosion losses, A. guide to conservation planning. USDA Handbook N°537. 58 p.

ANEXO

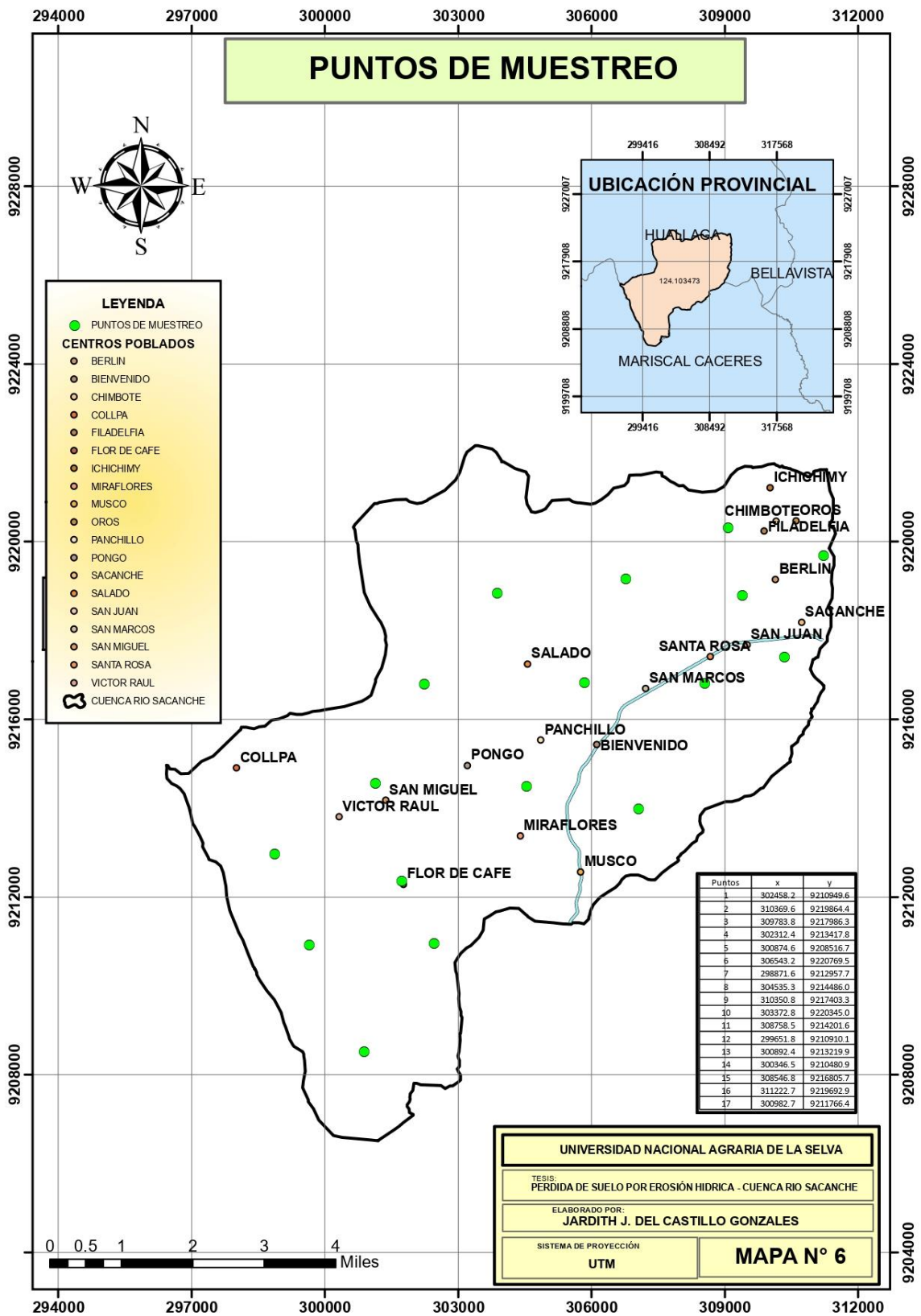


Figura 23. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para factor k

A 1. Registro de precipitaciones de las 4 estaciones meteorológicas periodo de 5 años – zona de influencia de la cuenca.

A1. Precipitación Mensual y Anual (mm) periodo 2018 - 2022 (5 años)														
ESTACIÓN PACHIZA														
230504														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL	P. TOTAL ANUAL
2018	186.2	221.7	142.7	146.5	116.2	107	102.8	102	143.4	297.1	292.9	170.9	169.12	2029.40
2019	495.3	236.3	280.2	157	259.2	225	178.4	98.8	135.8	248.1	165.6	284.7	230.37	2764.40
2020	133.2	171.8	154.6	143.5	243.7	218.3	176.2	133.1	154.3	267.4	278.5	226.5	191.76	2301.10
2021	283.4	213.4	192.4	149	235.67	222.1	167.76	125.7	103	235	274.12	265.9	205.62	2467.45
2022	275.45	210.9	187.9	159.65	178.44	230	159.78	151.2	97	260	160.2	150.4	185.08	2220.92
PROMEDIO MENSUAL	274.71	210.82	191.56	151.13	206.64	200.48	156.99	122.16	126.70	261.52	234.26	219.68	PROMEDIO ANUAL	2356.65
ESTACIÓN HUAYABAMBA														
107010														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL	P. TOTAL ANUAL
2018	128.3	231.1	133.3	124.1	153	58	111.3	68.9	63.1	179.6	107.1	138.1	124.66	1495.90
2019	350	218.7	103.9	177.3	172.8	141.5	95.2	84.8	83.6	219.1	167.9	153	163.98	1967.80
2020	70.6	86.7	152.1	132.9	266.3	89.3	91.2	116.4	154.3	182.3	72.2	148.4	130.23	1562.70
2021	145.8	315.1	355.6	92.9	74.7	45.5	27	25	133.2	107.7	132.8	149.2	133.71	1604.50
2022	78.8	149.6	231.9	44.6	105.8	143.6	61.6	61.5	116.9	140.5	112	102.2	112.42	1349.00
PROMEDIO MENSUAL	154.70	200.24	195.36	114.36	154.52	95.58	77.26	71.32	110.22	165.84	118.40	138.18	PROMEDIO ANUAL	1595.98
ESTACIÓN BELLAVISTA														
107012														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL	P. TOTAL ANUAL
2018	94.8	172.3	51.7	143.5	75.8	37.1	43.2	39.5	65.2	79.5	53.5	48.6	75.39	904.70
2019	111.15	49.9	133.9	175.8	17	78.4	75.8	122.5	73.8	114	141.8	77.6	97.64	1171.65
2020	75.8	37.4	137.3	138.7	35	42	37	109.3	78.9	102.3	121.1	83.2	83.17	998.00
2021	93.9	75.4	222.1	129.9	78.9	77	79	134.4	88	80	136.6	111	108.85	1306.20
2022	91	73	315	98.6	47.8	76	58.33	127.82	95.21	112.78	147.8	109.33	112.72	1352.67
PROMEDIO MENSUAL	93.33	81.60	172.00	137.30	50.90	62.10	58.67	106.70	80.22	97.72	120.16	85.95	PROMEDIO ANUAL	1146.64
ESTACIÓN SAN PABLO														
107012														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL	P. TOTAL ANUAL
2018	342.5	156.7	124.7	206.6	81.2	35.5	50.4	81.8	113.4	147.7	126.4	143	134.16	1609.90
2019	62.3	118.2	159.4	155.8	51.4	47.8	89.6	35.7	169.8	117.3	204.9	130	111.85	1342.20
2020	57.1	36.4	113.4	181.2	68.5	69.8	72.3	61.3	139.9	134.3	168.65	136.21	103.26	1239.06
2021	63	123.6	227.4	171.5	51.2	75.7	88.7	54.2	119.6	160.8	152	183.6	122.61	1471.30
2022	70	134.2	148.2	67.9	101	68	121	109.9	142.41	84.3	59.4	106.8	101.09	1213.11
PROMEDIO MENSUAL	118.98	113.82	154.62	156.60	70.66	59.36	84.40	68.58	137.02	128.88	142.27	139.92	PROMEDIO ANUAL	1375.11

A2. Precipitaciones Máxima, mínima, media mensual para las estaciones Pachiza, Huayabamba, Bellavista y San pablo, periodo (2018 – 2022)

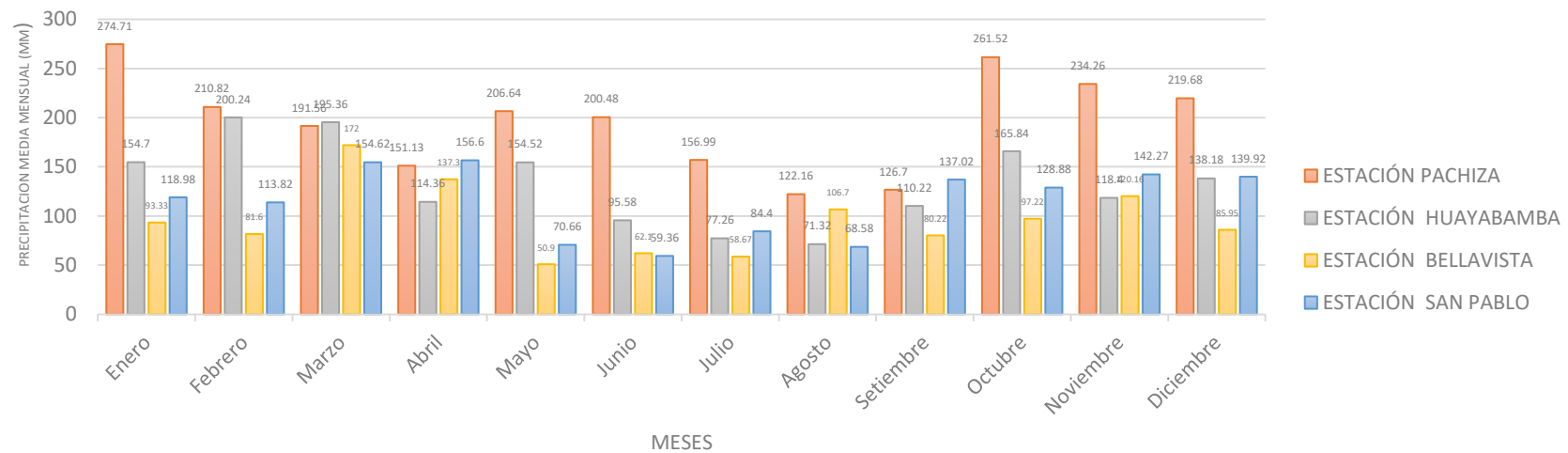
Meses	Pachiza			Huayabamba			Bellavista			San pablo		
	Máx	Min	Media	Máx	Min	Media	Máx	Min	Media	Máx	Min	Media
Enero	495.3	133.2	274.71	350	70.6	154.7	111.15	75.8	93.33	342.5	57.1	118.98
Febrero	236.3	171.8	210.82	315.1	86.7	200.24	172.3	37.4	81.6	156.7	36.4	113.82
Marzo	280.2	142.7	191.56	355.6	103.9	195.36	315	51.7	172	227.4	113.4	154.62
Abril	159.65	143.5	151.13	177.3	44.6	114.36	175.8	98.6	137.3	206.6	67.9	156.6
Mayo	259.2	116.2	206.64	266.3	74.7	154.52	78.9	17	50.9	101	51.2	70.66
Junio	230	107	200.48	143.6	45.5	95.58	78.4	37.1	62.1	75.7	35.5	59.36
Julio	178.4	102.8	156.99	111.3	27	77.26	79	37	58.67	121	50.4	84.4
Agosto	151.2	98.8	122.16	116.4	25	71.32	134.4	39.5	106.7	109.9	35.7	68.58
Setiembre	154.3	97	126.7	154.3	63.1	110.22	95.21	65.2	80.22	169.8	113.4	137.02
Octubre	297.1	235	261.52	219.1	107.7	165.84	114	79.5	97.22	160.8	84.3	128.88
Noviembre	292.9	160.2	234.26	167.9	72.2	118.4	147.8	53.5	120.16	204.9	59.4	142.27
Diciembre	284.7	150.4	219.68	153	102.2	138.18	111	48.6	85.95	183.6	106.8	139.92

A3. Precipitaciones Media Mensual periodo (2018 – 2022) y estaciones Meteorológicas ubicadas cerca de la cuenca del Rio sacanche.

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ANUAL	P. TOTAL ANUAL
PACHIZA	274.71	210.82	191.56	151.13	206.64	200.48	156.99	122.16	126.70	261.52	234.26	219.68	196.39	2356.65
HUAYABAMBA	154.70	200.24	195.36	114.36	154.52	95.58	77.26	71.32	110.22	165.84	118.40	138.18	133.00	1595.98
BELLAVISTA	93.33	81.60	172.00	137.30	50.90	62.10	58.67	106.70	80.22	97.72	120.16	85.95	95.55	1146.64
SAN PABLO	132.98	111.38	154.62	156.60	70.66	59.36	84.40	68.58	137.02	128.88	142.27	139.92	115.56	1386.66
MEDIA MENSUAL (5 años)	163.93	151.01	178.39	139.85	120.68	104.38	94.33	92.19	113.54	163.49	153.77	145.93	PROMEDIO ANUAL	1621.49

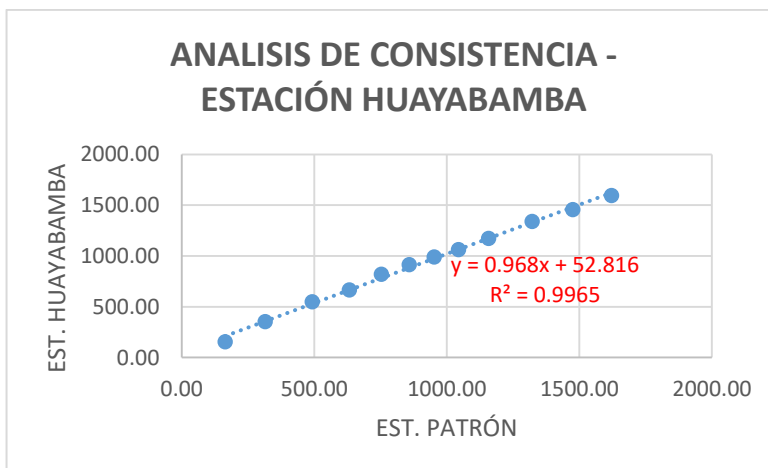
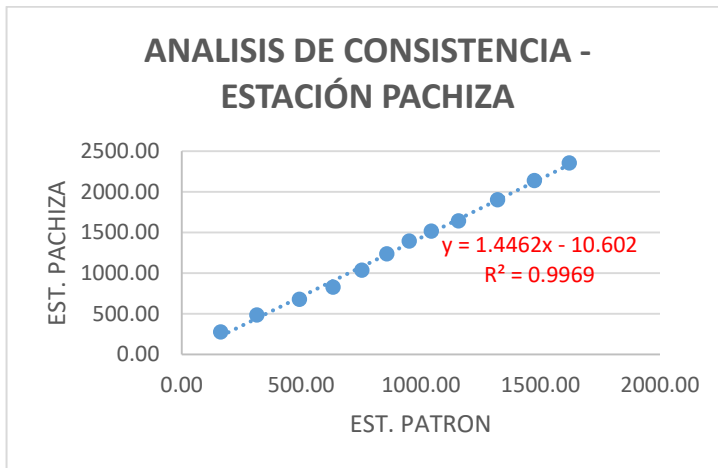
Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados SENAEMI

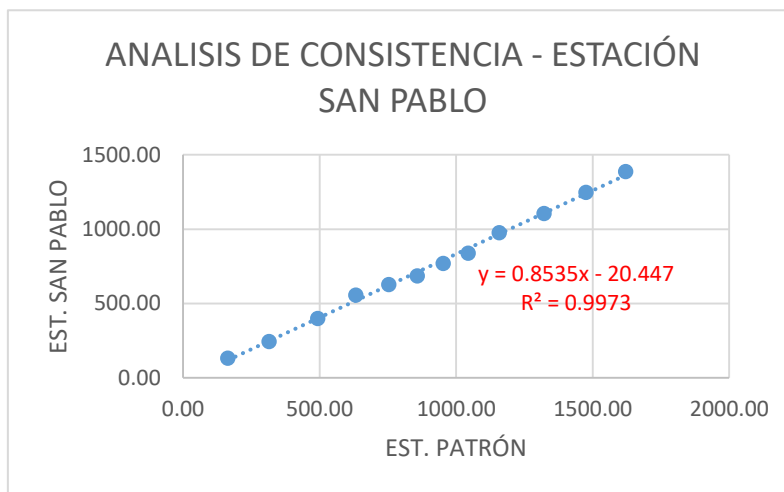
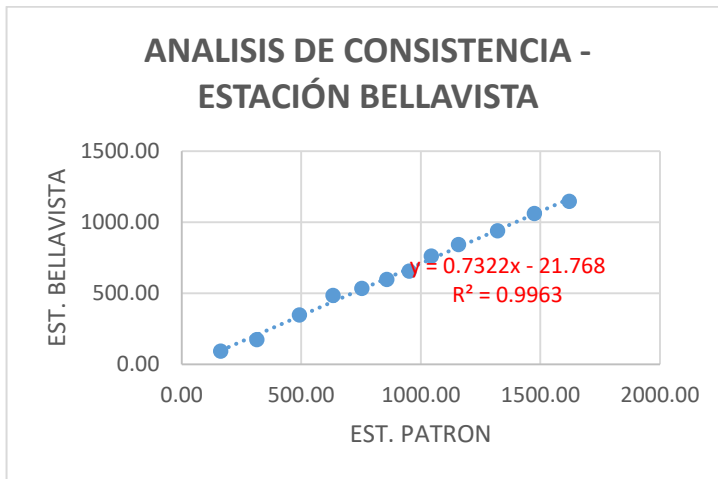
Comportamiento de la precipitaciones media mensual en las estaciones Pachiza - Huayabamba - Bellavista y San Pablo para el periodo (2018 - 2022)



A4. Análisis de consistencia de las estaciones Pachiza, Huayabamba, Bellavista, San Pablo.

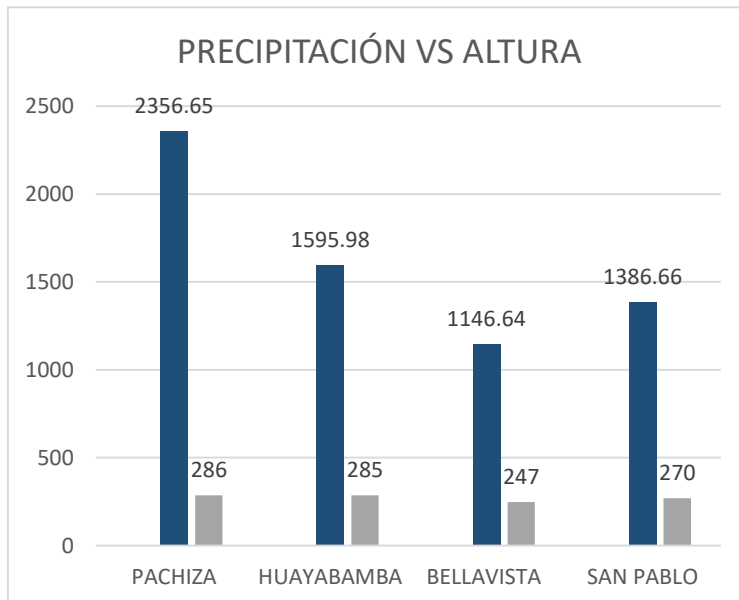
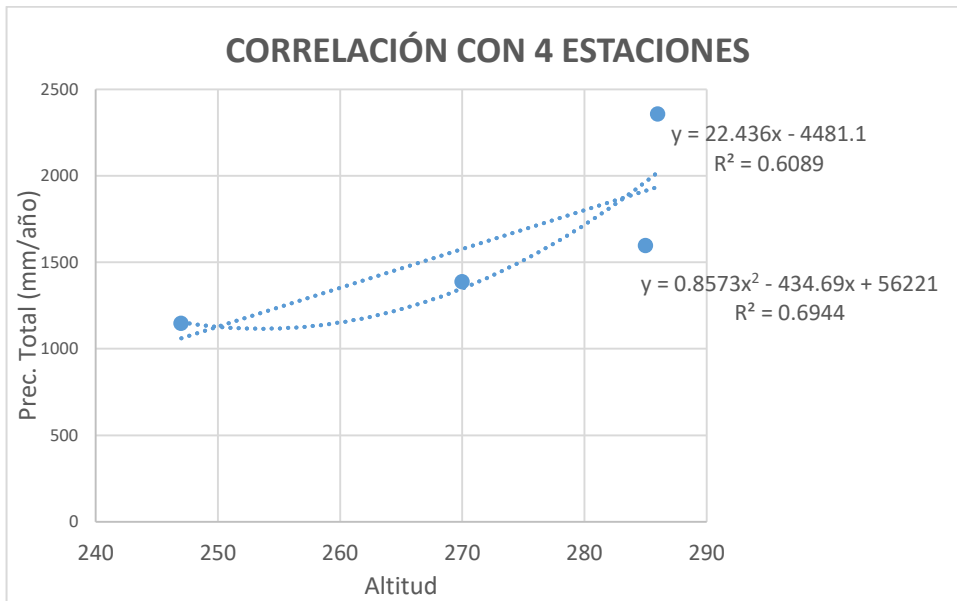
MES	EST. PATRON	PP Acumulada	Est. PACHIZA	PP Acumulada	Est. Huayabamba	PP Acumulada	Est. Bellavista	PP Acumulada	Est. San PABLO	PP Acumulada
	(Pp mm)	EST. PATRON	(Pp mm)	Est. PACHIZA	(Pp mm)	Est. Huayabamba	(Pp mm)	Est. Bellavista	(Pp mm)	Est. San Pablo
Ene	163.92875	163.92875	274.71	274.71	154.7	154.7	93.33	93.33	132.975	132.975
Feb	151.00875	314.9375	210.82	485.53	200.24	354.94	81.6	174.93	111.375	244.35
Mar	178.385	493.3225	191.56	677.09	195.36	550.3	172	346.93	154.62	398.97
Abr	139.8475	633.17	151.13	828.22	114.36	664.66	137.3	484.23	156.6	555.57
May	120.6805	753.8505	206.642	1034.862	154.52	819.18	50.9	535.13	70.66	626.23
Jun	104.38	858.2305	200.48	1235.342	95.58	914.76	62.1	597.23	59.36	685.59
Jul	94.3285	952.559	156.988	1392.33	77.26	992.02	58.666	655.896	84.4	769.99
Ago	92.191	1044.75	122.16	1514.49	71.32	1063.34	106.704	762.6	68.58	838.57
Set	113.541	1158.291	126.7	1641.19	110.22	1173.56	80.222	842.822	137.022	975.592
Oct	163.489	1321.78	261.52	1902.71	165.84	1339.4	97.716	940.538	128.88	1104.472
Nov	153.7735	1475.5535	234.264	2136.974	118.4	1457.8	120.16	1060.698	142.27	1246.742
Dic	145.932	1621.4855	219.68	2356.654	138.18	1595.98	85.946	1146.644	139.922	1386.664





A5. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura con 4 Estaciones

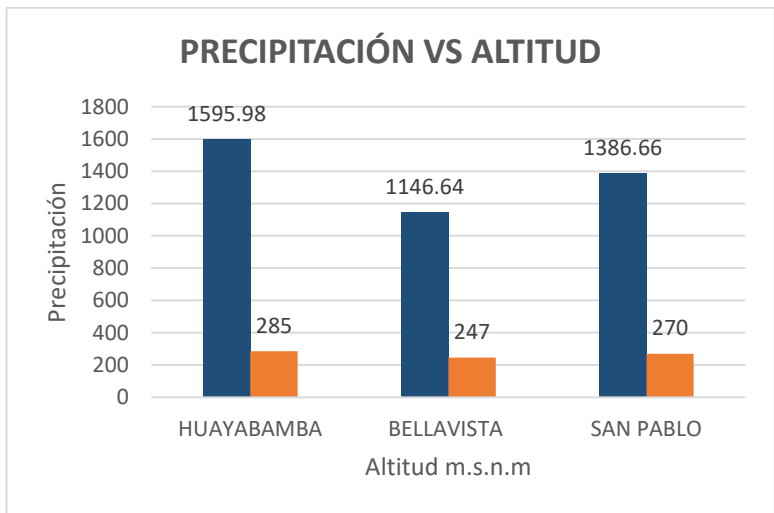
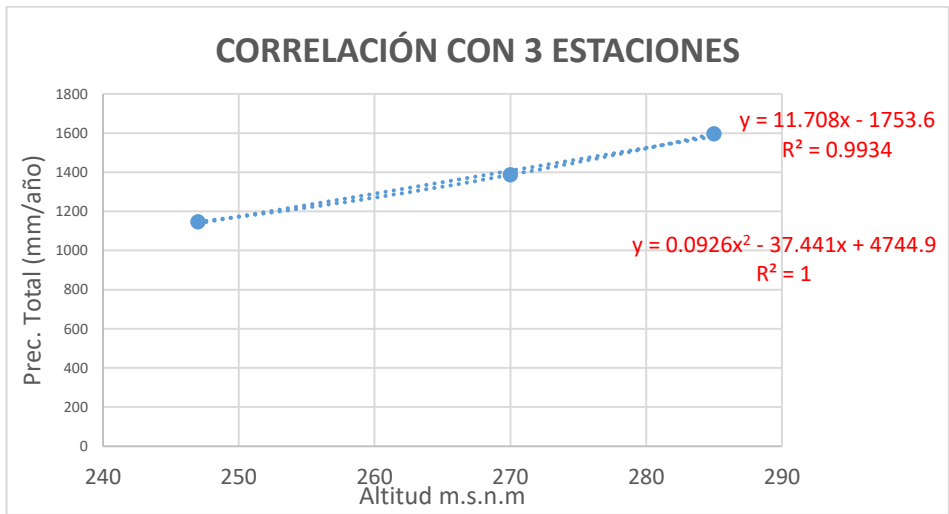
ESTACIÓN	Prec. Total (mm/año)	z (m.s.n.m)
PACHIZA	2356.65	286
HUAYABAMBA	1595.98	285
BELLAVISTA	1146.64	247
SAN PABLO	1386.66	270



Coefficiente de Pearson ($r = 0.7803$)

A6. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura con 3 Estaciones

ESTACIÓN	Prec. Total (mm/año)	z (m.s.n.m)
HUAYABAMBA	1595.98	285
BELLAVISTA	1146.64	247
SAN PABLO	1386.66	270



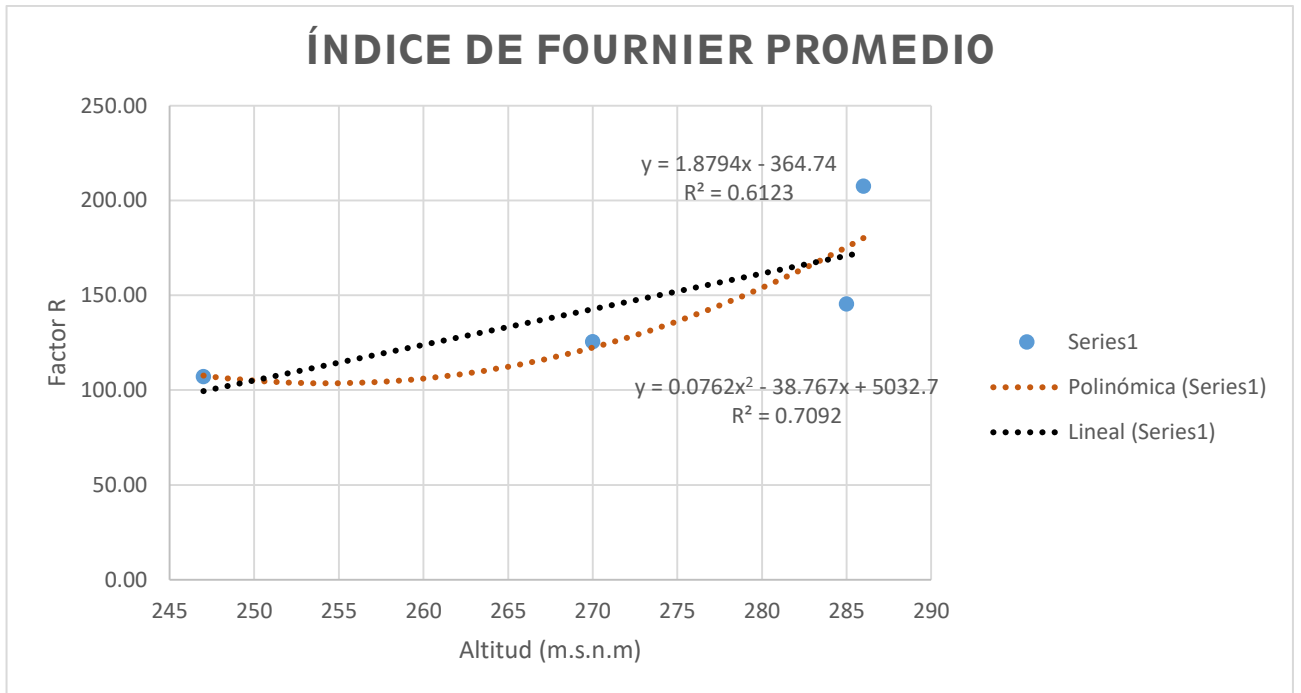
Coefficiente de Pearson ($r = 0.9966$)

A7. Aplicación del Índice de Fournier (Arnouldus)

Estación	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Factor R
Huayabamba	Prec_anual (P)	154.70	200.24	195.36	114.36	154.52	95.58	77.26	71.32	110.22	165.84	118.40	138.18	1595.98	145.43
	$\sum Pi^2$	23932.09	40096.06	38165.53	13078.21	23876.43	9135.54	5969.11	5086.54	12148.45	27502.91	14018.56	19093.71	232103.13	
Bellavista	Prec_anual (P)	93.33	81.60	172.00	137.30	50.90	62.10	58.67	106.70	80.22	97.72	120.16	85.95	1146.64	107.17
	$\sum Pi^2$	8710.49	6658.56	29584.00	18851.29	2590.81	3856.41	3441.70	11385.74	6435.57	9548.42	14438.43	7386.71	122888.13	
San Pablo	Prec_anual (P)	132.98	111.38	154.62	156.60	70.66	59.36	84.40	68.58	137.02	128.88	142.27	139.92	1386.66	125.53
	$\sum Pi^2$	17682.35	12404.39	23907.34	24523.56	4992.84	3523.61	7123.36	4703.22	18775.03	16610.05	20240.75	19578.17	174064.67	
Pachiza	Prec_anual (P)	274.71	210.82	191.56	151.13	206.64	200.48	156.99	122.16	126.70	261.52	234.26	219.68	2356.65	207.71
	$\sum Pi^2$	75465.58	44445.07	36695.23	22840.28	42700.92	40192.23	24645.23	14923.07	16052.89	68392.71	54879.62	48259.30	489492.14	


A8. Correlación IMF Vs Altura

ESTACIÓN METEOROLOGICA	Altitud (m.s.n.m)	IMF (ANUAL)
Huayabamba	285	145.43
Bellavista	247	107.17
San Pablo	270	125.53
Pachiza	286	207.71



Coeficiente de Pearson ($r=0.7825$)

A9. Análisis de suelos – Empresa Corporación Delca

 CORPORACIÓN DELCA <small>CONSULTORÍA E INGENIERÍA</small>		CORPORACIÓN DELCA					
		TESIS: EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO POR EROSIÓN HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO SACANCHE					
		ANÁLISIS DE SUELO					
Numero de Muestra	Clase Textural	% arena	% limo	% arcilla	Estructura	% m.o	Permeabilidad (m/dia)
1	Franco arcilloso	30.16	37.84	32	3	0.2	4
2	Franco Arcilloso Arenoso	50.16	23.84	26	2	2.31	4
3	Franco arcilloso	57.68	15.92	26.4	2	2.1	2
4	Arcilloso Arenoso	52.4	12.24	35.36	3	3.1	2
5	Arcilloso Arenoso	54.4	8.24	37.36	3	2.3	4
6	Franco arcilloso	53.27	19.24	27.49	2	2.37	4
7	Arcilloso	38.16	21.84	40	3	2.01	3
8	Franco arcillo arenoso	58.12	17.84	24.04	3	3.42	4
9	Franco Arcilloso	39.16	29.3	31.54	3	0.28	4
10	Franco arcilloso arenoso	54.45	25.13	20.42	2	2.54	3
11	Franco Arcilloso	35.47	30.37	34.16	3	2.33	4
12	Franco arenoso	80.88	5.84	13.28	1	2.31	3
13	Franco	47.44	28.72	23.84	2	3.4	3
14	Franco Limoso	46.72	27.44	25.84	1	3.9	3
15	Franco arcilloso arenoso	57.68	14.64	27.68	2	2.1	4
16	Arcillo arenoso	51.28	12.64	36.08	3	2.53	4
17	Franco	47.28	28.88	23.84	2	2.5	3

A10. Determinación del Factor de Erodabilidad K, mediante metodología del nomograma Wischmeier y Smith

Muestra	Clase Textural	% arena	% limo	% arcilla	Estructura	% M.O	Permeabilidad (m/dia)	Factor K
1	Franco arcilloso	30.16	37.84	32	3	0.2	4	0.0568
2	Franco Arcilloso Arenoso	50.16	23.84	26	2	2.31	4	0.0523
3	Franco arcilloso	57.68	15.92	26.4	2	2.1	2	0.0461
4	Arcilloso Arenoso	52.4	12.24	35.36	3	3.1	2	0.0340
5	Arcilloso Arenoso	54.4	8.24	37.36	3	2.3	4	0.0411
6	Franco arcilloso	53.27	19.24	27.49	2	2.37	4	0.0498
7	Arcilloso	38.16	21.84	40	3	2.01	3	0.0356
8	Franco arcillo arenoso	58.12	17.84	24.04	3	3.42	4	0.0536
9	Franco Arcilloso	39.16	29.3	31.54	3	0.28	4	0.0572
10	Franco arcilloso arenoso	54.45	25.13	20.42	2	2.54	3	0.0564
11	Franco Arcilloso	35.47	30.37	34.16	3	2.33	4	0.0450
12	Franco arenoso	80.88	5.84	13.28	1	2.31	3	0.0660
13	Franco	47.44	28.72	23.84	2	3.4	3	0.0464
14	Franco Limoso	46.72	27.44	25.84	1	3.9	3	0.0369
15	Franco arcilloso arenoso	57.68	14.64	27.68	2	2.1	4	0.0508
16	Arcillo arenoso	51.28	12.64	36.08	3	2.53	4	0.0419
17	Franco	47.28	28.88	23.84	2	2.5	3	0.0513

A 11. Valores de K en función a la Textura – Clasificación USDA

MUESTRA	ESTE	NORTE	Clase textural	% arena	% limo	% arcilla	Estructura	% M.O	Permeabilidad (m/dia)	Factor K	Clasificación
1	302458.172	9210949.62	Franco arcilloso	30.16	37.84	32	3	0.2	4	0.05675489	Fuertemente Erodable

2	310369.596	9219864.39	Franco Arcilloso Arenoso	50.16	23.84	26	2	2.31	4	0.05226781	Fuertemente Erodable
3	309783.766	9217986.34	Franco arcilloso	57.68	15.92	26.4	2	2.1	2	0.04612966	Fuertemente Erodable
4	302312.408	9213417.78	Arcilloso Arenoso	52.4	12.24	35.36	3	3.1	2	0.03403521	Medianamente erodable
5	300874.622	9208516.65	Arcilloso Arenoso	54.4	8.24	37.36	3	2.3	4	0.04110007	Fuertemente Erodable
6	306543.216	9220769.52	Franco arcilloso	53.27	19.24	27.49	2	2.37	4	0.04975885	Fuertemente Erodable
7	298871.583	9212957.68	Arcilloso	38.16	21.84	40	3	2.01	3	0.03558105	Fuertemente Erodable
8	304535.294	9214485.97	Franco arcillo arenoso	58.12	17.84	24.04	3	3.42	4	0.05360117	Fuertemente Erodable
9	310350.806	9217403.31	Franco Arcilloso	39.16	29.3	31.54	3	0.28	4	0.05717813	Fuertemente Erodable
10	303372.849	9220345.01	Franco arcilloso arenoso	54.45	25.13	20.42	2	2.54	3	0.05643249	Fuertemente Erodable
11	308758.459	9214201.59	Franco Arcilloso	35.47	30.37	34.16	3	2.33	4	0.04501728	Fuertemente Erodable
12	299651.818	9210910.12	Franco arenoso	80.88	5.84	13.28	1	2.31	3	0.06603358	Fuertemente Erodable
13	300892.4	9213219.93	Franco	47.44	28.72	23.84	2	3.4	3	0.04641314	Fuertemente Erodable
14	300346.532	9210480.94	Franco Limoso	46.72	27.44	25.84	1	3.9	3	0.03686096	Medianamente erodable
15	308546.815	9216805.73	Franco arcilloso arenoso	57.68	14.64	27.68	2	2.1	4	0.05077674	Fuertemente Erodable
16	311222.658	9219692.88	Arcillo arenoso	51.28	12.64	36.08	3	2.53	4	0.04185007	Fuertemente Erodable
17	300982.728	9211766.43	Franco	47.28	28.88	23.84	2	2.5	3	0.05127033	Fuertemente Erodable



Figura 24. Reconocimiento de la zona de influencia de la cuenca - CC.PP Miraflores



Figura 25. Extracción de muestras de suelo - muestra 9



Figura 26. Embolsado de las muestras de suelo - muestra 1.



Figura 27. Diversos uso y cobertura vegetal en la cuenca del Rio Sacanche – Suelo desnudo



Figura 28. Diversos uso y cobertura vegetal en la cuenca del Río Sacanche - cacao



Figura 29. Reconocimiento de Cuerpos de Agua

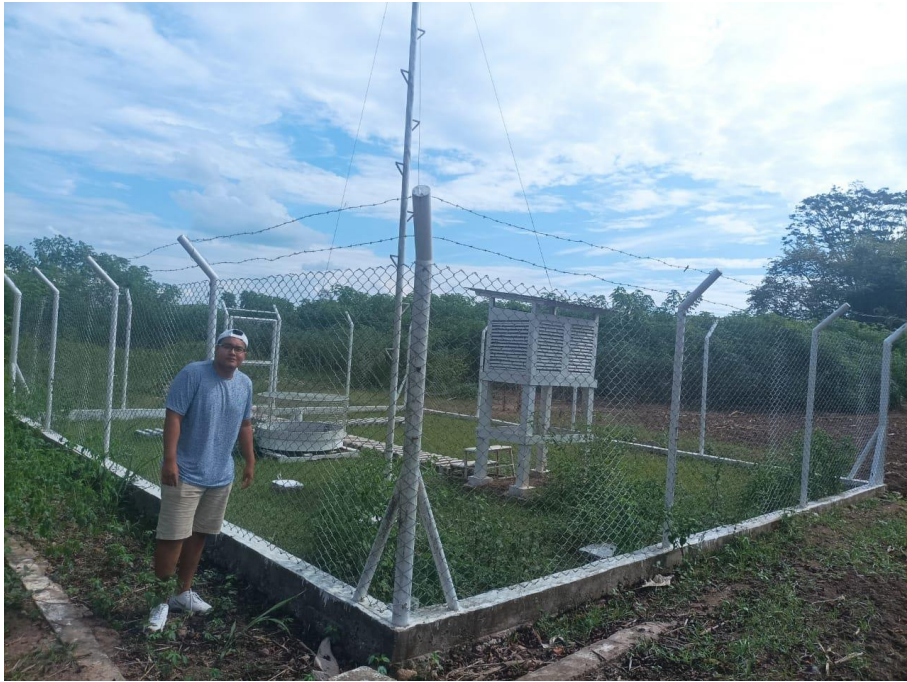


Figura 30. Estación meteorológica - Bellavista



Figura 31. Estación meteorológica- San Pablo